

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojů

Katedra energetiky

Využití sluneční energie pro rodinný dům

Utilization of Solar Energy of the Detached House

Student:

Jiří Otipka

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Ostrava 2015

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jiří Otipka**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení

Téma: **Využití sluneční energie pro rodinný dům**
Utilization of Solar Energy for the Detached House

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh využití sluneční energie pro rodinný dům, a to variantně s použitím termosolární soustavy a s použitím fotovoltaických panelů.

Práce bude obsahovat:

- 1) Stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody.
- 2) Návrh výkonových parametrů obou koncepcí. Kapacitní a bilanční výpočty solárních zisků.
- 3) Srovnání variant z energetického a ekonomického hlediska. Environmentální přínos.
- 4) Projekt termosolární soustavy vč. výkr. dokumentace se schématem zapojení a dispozičním řešením.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J., VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

CIHELKA, J. *Solární tepelná technika*. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.

MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.

MATUŠKA, T. *Solární tepelné soustavy*. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

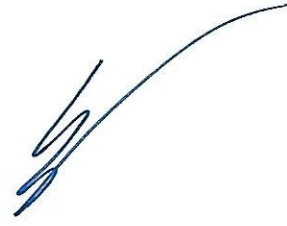
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2015

Datum odevzdání: 16.05.2016




prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení studenta

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl všechny potřebné publikace.

V Ostravě dne 5. 5. 2016


..... podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: 5. 5. 2016



.....
podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Jiří Otipka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Polská 6, Opava-Vávrovice

Anotace diplomové práce

OTIPKA, J. *Využití sluneční energie pro rodinný dům: diplomová práce*. Ostrava: VŠB Technická universita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2015 Vedoucí práce doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá využitím sluneční energie pro rodinný dům a to jak ve variantě termosolární soustavy, tak ve variantě za použití fotovoltaických panelů. V úvodu napíši vlastnosti slunečního záření, energií slunce a jeho přeměny při dopadu na zemskou atmosféru a povrch planety. Dále uvedu základní rozdělení solárních systému. V dalším bodě popíšu základní varianty solárních kolektorů a fotovoltaických panelů. Ve své praktické části vypočtu potřebu tepla na přípravu teplé vody. Na tutéž potřebu tepla napočítám potřebný počet solárních kolektorů nebo fotovoltaických panelů. Zvolím potřebné dílčí prvky obou soustav. V závěru zhodnotím obě soustavy jak po stránce ekonomické, tak i z environmentálního pohledu.

Annotation graduation thesis

OTIPKA, J. *Utilization of Solar Energy for the Detached House*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Power Engineering, 2015, Supervisor doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

This thesis deals with the use of solar energy for the house, both in the variant thermosolar system, so in a variant using photovoltaic panels. In the beginning I write characteristics of solar radiation energy of the sun and its transformation when it hit the Earth's atmosphere and the planet's surface. In next point, I distribution a solar system. In the next section, I wil describe the basic variants of solar collectors and photovoltaic panels. In the practical part i calculate of the need to heat hot water. At the same heat demand count the necessary number of solar collectors or photovoltaic panels. I selet the required sub-elements of both systems. In the end I evaluate bots systems like as economic as environmental perspective.

Klíčová slova

plochý solární kolektor, potřeba tepla, snížení emisí, energetická bilance, fotovoltaika

Key words

flat solar collector, heat demand, emissions reduction, energy balance, photovoltaics

Obsah

Úvod	12
1. Slunce a jeho energie	13
1.1. Sluneční záření	13
1.2. Využití slunečního záření	14
1.3. Přímé a difuzní záření	15
1.4. Roční hodnoty pro ČR	16
2. Rozdělení solárních systémů	17
2.1. Pasivní solární systémy	17
2.1.1. Přímý systém	18
2.1.2. Nepřímý systém	18
2.1.3. Izolační systém	19
2.2. Aktivní systémy	19
3. Solární kolektory	19
3.1. Druhy solárních kolektorů	20
3.1.1. Nekryté (nezasklené) kolektory	20
3.1.2. Ploché atmosférické kolektory	21
3.1.3. Ploché vakuové kolektory	22
3.1.4. Trubkové vakuové kolektory	22
3.1.5. Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou	23
3.1.6. Trubkové kolektory s dvoustěnnou skleněnou trubkou	23
3.1.7. Koncentrační kolektory	24
4. Fotovoltaika	25
4.1. Solární články	25
4.1.1. Monokrystalické články	26
4.1.2. Polykrystalické články	26
4.1.3. Tenkovrstvé amorfní články	26
4.1.4. Vícevrstvé články	26
4.2. Typy nasazení FV systému	27
4.2.1. Autonomní systémy	27
4.2.2. Systémy napojené na síť	27
5. Popis stávající soustavy s jedním zásobníkem	28
6. Návrh termosolární soustavy	28
6.1. Stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody	28
6.1.1. Měsíční potřeby tepla pro TUV	29
6.1.2. Roční potřeba tepla	29

6.2.	Kapacitní a bilanční výpočty solárních zisků	30
6.2.1.	Volba slunečního kolektoru.....	30
6.2.2.	Výpočet měsíčního přínosu ze slunečního kolektoru KPS11+ANT.....	30
6.2.3.	Účinnost kolektoru.....	31
6.2.4.	Měrný příjem ze solárního kolektoru.....	32
6.2.5.	Výpočet potřebné plochy slunečních kolektorů.....	33
6.2.6.	Výpočet počtů kolektorů	33
6.2.7.	Výpočet skutečné plochy kolektoru.....	33
6.2.8.	Příjem z apertury.....	34
6.2.9.	Určení přebytku a nedostatků	34
6.2.10.	Užitečný zisk ze solárních kolektorů.....	35
6.3.	Prvky termosolární soustavy.....	36
6.3.1.	Volba teplotnosné kapaliny	37
6.3.2.	Volba solárního zásobníku a potrubního systému	37
6.3.3.	Stanovení tlakových ztrát solárního okruhu	37
6.3.4.	Stanovení oběhového čerpadla	43
6.3.5.	Stanovení plnicího tlaku a maximálního provozního tlaku	44
6.3.6.	Stanovení expanzní nádoby	44
6.3.7.	Stanovení dílčích prvků.....	46
7.	Návrh fotovoltaické soustavy.....	47
7.1.	Výpočet potřebné plochy FV panelů.....	47
7.2.	Výpočet zisku z plochy FV panelů	48
7.3.	Určení přebytku a nedostatků	48
7.4.	Užitečný zisk z fotovoltaických panelů.....	49
7.5.	Výpočet počtů FV panelů.....	50
7.6.	Výpočet skutečné plochy FV panelů.....	50
7.7.	Výpočet zisku z přepočítané plochy FV panelů	51
7.8.	Celkový příjem za rok z FV soustavy	51
7.9.	Určení přebytku a nedostatků	51
7.10.	Užitečný zisk z fotovoltaických panelů	52
7.11.	Schéma fotovoltaické soustavy	53
8.	Ekonomické zhodnocení.....	54
8.1.	Roční ekonomický přínos obou návrhů.....	54
8.2.	Prostá doba návratnosti obou návrhů	55
8.3.	Environmentální zhodnocení	55
8.3.1.	Výpočet množství emisí z potřeby tepla na TV pro celý rok	55

8.3.2. Výpočet ušetřených emisí.....	56
Závěr.....	58
Seznam použité literatury	59
Seznam příloh	60

Seznam použitého označení

Symbol	Veličina	Jednotka
A	Redukovaná teplota	$[(K \cdot m^2)/W]$
a1	Lineární ztrátový součinitel	$[W/(m^2 \cdot K)]$
a2	Kvadratický součinitel	$[W/(m^2 \cdot K^2)]$
$c_{p, \text{paliva}}$	Měrná cena paliva	$[Kč/m^3]$
d	Průměr potrubí	$[m]$
Dn_FV	Doba návratnosti FV panelů	$[let]$
Dn_k	Doba návratnosti kolektorů	$[let]$
g	Gravitační zrychlení	$[m/s^2]$
h	Odečtená tlaková ztráta	$[m]$
Hd	Dopravní výška oběhového čerpadla	$[m]$
hs	Výška sloupce teplotonosného média	$[m]$
c_{H_2O}	měrná tepelná konstanta vody	$[kJ/(kg \cdot K)]$
I	Sluneční záření	$[kW/m^2]$
I_Fv	Investice FV soustavy	$[Kč]$
I_k	Investice kolektorové soustavy	$[Kč]$
l	Délka potrubí	$[m]$
$l_{\text{výměník}}$	Délka potrubí výměníku	$[m]$
m_n	Spotřeba tepla vody	$[kg]$
N	Nedostatky	$[kWh]$
n	Počet dní v měsíci	$[-]$
n	Počet kolektorů	$[-]$
n_{fv}	Počet FV panelů	$[-]$
n_{sk}	Skutečný počet kolektorů	$[-]$
$n_{sk_Fv \text{ skuečný}}$	Skutečný počet FV panelů	$[-]$
o	Počet osob	$[-]$
P	Přebytky	$[kWh]$
p_b	Atmosférický tlak	$[Pa]$
p_d	Požadovaný tlak	$[KPa]$
p_e	Maximální provozní tlak	$[KPa]$
p_o	Plnicí tlak	$[Pa]$

q	Měrný příjem	[W/m ²]
Q	Suma měrných příjmu	[W/m ²]
q_{FV}	Měrný zisk z FV panelů	[W/m ²]
Q_{ap}	Příjme z apertury	[kWh]
Q_c	Roční potřeba tepla	[kWh]
Q_{ca}	Roční příjem z apertury	[kWh]
Q_{fv}	Výkon 1m ² FV panelu v jednotlivý měs.	[kWh/m2]
Q_{fv_a}	Zisk z plochy FV panelů	[kWh]
Q_{fv_p}	Zisk z přepočítané plochy FV panelů	[kwh]
q_i	Měrný zisk v jednotlivých hodinách	[W/m2]
Q_i	Výhřevnost	[kWh/m ³]
Q_m	Potřeba tepla	[kWh]
$Q_{už}$	Užitečný zisk z kolektorů	[kWh]
$Q_{už_c_Fv}$	Celkový užitečný zisk z FV panelů	[kWh]
$Q_{už_FV}$	Užitečný zisk ze FV panelů	[kWh]
$Q_{už_Fv_P}$	Užitečný zisk z FV panelů přepočítaný	[kWh]
$Q_{už_fv_P_c}$	Celkový užitečný zisk z FV panelů	[kWh]
$Q_{užc}$	Celkový užitečný zisk z kolektorů	[kWh]
Re	Reynoldsovo kritérium	[-]
R_{p_FV}	Roční přínos FV panelů	[Kč]
R_{p_k}	Roční přínos kolektorů	[Kč]
S	Plocha solárních kolektoru	[m ²]
S'	Skutečná plocha kolektoru	[m ²]
S_{ap}	Plocha apertury kolektoru	[m ²]
S_{ap_FV}	Plocha apertury FV panelu	[m ²]
S_{fv}	Plocha FV panelů	[m ²]
S_{fv_p}	Přepočítaná plocha FV panelů	[m ²]
$S_{potrubí}$	Průřez potrubí	[m ²]
$S_{výměník}$	Průřez porub výměníku	[m ²]
t	Čas	[h]
t_2	Teplota potřebná v zásobníku	[°C]
t_a	Venkovní teplota	[°C]

t_k	Střední teplota kolektoru	[°C]
t_{s_v}	Průměrná teplota studené vody	[°C]
V	Celkový objem teplotnosného média	[l]
V_{EN}	Skutečný objem expanzí nádoby	[l]
$V_{EN,MIN}$	Minimální objem expanzní nádoby	[l]
$V_{kolektory}$	Objem teplotnosného média v kolektorech	[l]
V_{os}	Potřeba teplé vody pro pět osob	[l]
V_{potr}	Objem teplotnosného média v potrubí	[l]
V_s	Minimální objem ve studeném stavu	[l]
$V_{výměník}$	Objem teplotnosného média ve výměníku	[l]
V_{zas}	Objem zásobníku	[l]
w	Rychlost teplotnosného media	[m/s]
z	Uvažované ztráty soustavy	[%]
β	Teplotní součinitel	[-]
ΔP_c	Celková tlaková ztráta soustavy	[Pa]
ΔP_{koll}	Ztráta jedním kolektorem	[Pa]
ΔP_{kolc}	Ztráta čtyřmi kolektory	[Pa]
ΔP_{vym}	Ztráta v hadovém výměníku	[Pa]
ΔP_z	Celková ztráta třením	[Pa]
$\Delta P_{zprům}$	Průměrná ztráta třením	[Pa]
η	Účinnost kolektoru	[-]
η_o	Optická účinnost kolektoru	[-]
η_{real}	Účinnost reálná	[-]
λ	Součinitel třecí ztráty	[-]
ρ	Hustota média v potrubí	[kg/m ³]
ν	Kinematická viskozita	[m ² /s]
ξ_K	Součinitel tvaru kolena	[-]
ξ_T	Součinitel tvaru T-kus	[-]
ξ_{UA}	Součinitel uzavírací armatury	[-]
ξ_v	Součinitel vlnovce	[-]
ξ_{ZK}	Součinitel zpětné klapky	[-]

Úvod

V dnešní době, kdy je kladen velký důraz na snižování vypouštěných emisí do ovzduší můžeme s velkou výhodou využít potenciál slunce a jeho energii. Slunce je z dlouhodobé perspektivy označováno jako obnovitelný zdroj energie a „čistý“ zdroj energie. Také si ale musíme říct, že využití jeho energii není po celý rok stejný a značně kolísá. V České republice je využití sluneční energie spíše na domovních stavbách. Na využití velkých solárních polí se nahlíží spíše s despektem občanů na znehodnocení půdy.

V České republice je přes 28 tisíc fotovoltaických elektráren z toho je 525 elektráren o výkonu většího než 1 MW. Velký nárůst byl od roku 2008, kdy v ČR byl počet FVE cca 1400 a k roku 2015 je to okolo 28 tisíc, také instalovaný výkon se musel zvýšit a nyní je to okolo 2124 MW. Výstavba nových FVE se skoro téměř zastavila, je to díky nulové výkopní ceně, která byla ustanovená v roce 2012.

V mé diplomové práci se budu zabývat, využitím sluneční energie, a jak se tato energie dá přeměnit na ohřev teplé vody. Vyjdu jak z termosolární soustavy, tak i z fotovoltaické soustavy. V diplomové práci uvedu možný postup výpočtu. V závěru práce zhodnotím tyto dvě soustavy jak z pohledu ekonomického, tak i z pohledu environmentálního. Všechny výsledky uvedu v závěru své práce.

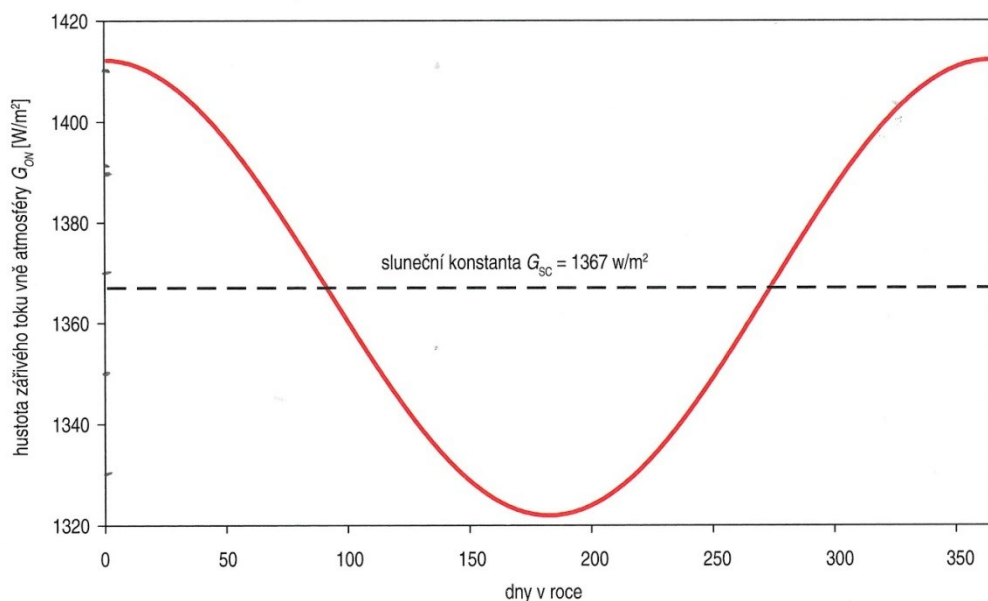
1. Slunce a jeho energie

Slunce má tvar koule o průměru 1,39 miliónu kilometrů a jeho hmotnost je $2 \cdot 10^{30}$ kg. Tvoří přibližně 99,9% hmotnosti celé sluneční soustavy, v níž je středem a také nejbližší hvězdou, která produkuje pro naši planetu veškerou energii. Jeho složení je výhradně z atomárního vodíku (70%), helia (28%) a dalších prvků (2%), které jsou zastoupeny jen v minimální míře. Veškeré prvky se na Slunci vyskytují ve skupenství plazmy. Stáří Slunce se odhaduje asi na 5 miliard let a předpokládá se, že bude existovat ještě dalších 5 až 10 miliard let.

Zdrojem energie Slunce je přeměna vodíku v helium termionukleárními reakcemi probíhající ve středních oblastech Slunce. Tato přeměna se uskutečňuje při teplotě $13 \cdot 10^6$ K a tlaku $2 \cdot 10^{10}$ MPa. Slunce má přibližně 6000 K a jeho tok energie, který vyzařuje, je $3,85 \cdot 10^{26} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. [1],[2],[4]

1.1. Sluneční záření

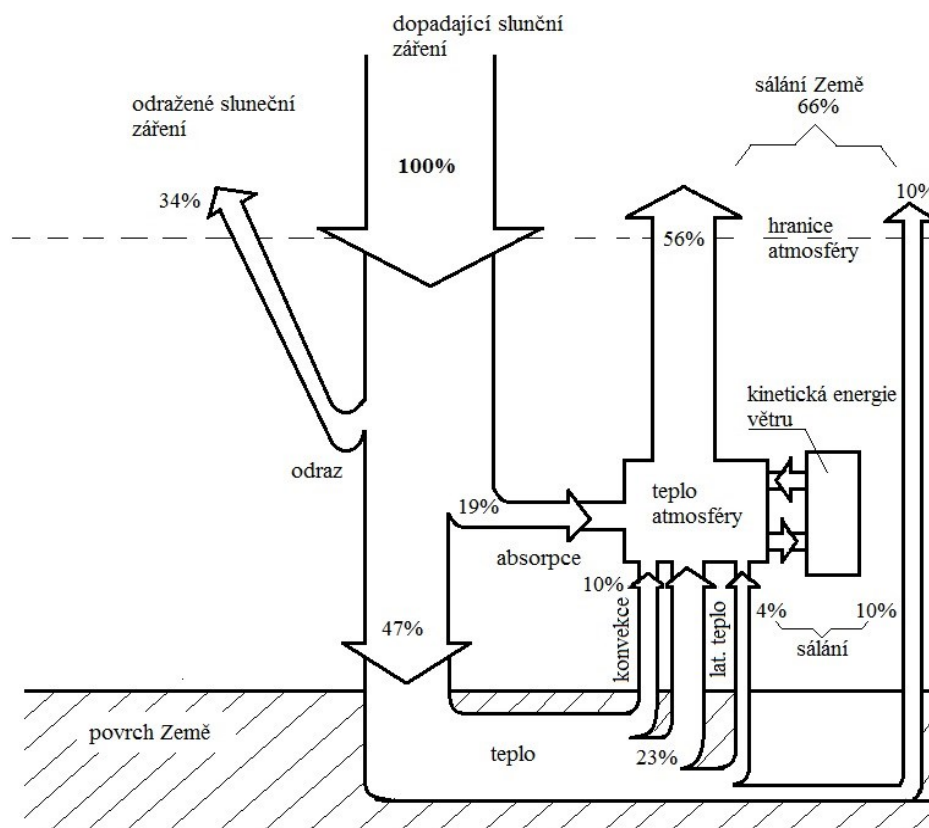
Slunce vyzařuje svojí energii v celém rozsahu vlnových délek od nejmenších rentgenových až po metrové. Nejčastěji ale vyzařuje světelné a infračervené záření o vlnové délce 0,2 až 3 μm . Záření musí urazit 150 milionů kilometru, než dorazí na hranici atmosféry Země, kde je jeho intenzita zmenšená v důsledku vyzařování na větší plochu. Na povrch zemské atmosféry dopadá měrný tok $1,4 \cdot 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. To je tzv. sluneční konstanta (obr. 1.1) a na základě dlouhodobých družicových měření se uvádí hodnota $1367 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Zajímavé je porovnání s ostatními planetami, kde Merkur, který je Slunci nejbližší, má sluneční konstantu $9040 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$, kdežto nejvzdálenější planeta Neptun má sluneční konstantu jenom $1,5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.



Obrázek 1.1 Sluneční konstanta.[4]

Z celkového vyprodukovaného množství sluneční energie dopadne na zem jen asi jedna dvou-miliardtina, tj. $1,8 \cdot 10^{14}$ kW. Ve výšce nad 60 km pohlcují atmosférické plyny ultrafialové a rentgenové záření, dále mezi 20 až 30 km v tzv. ozonosféře se pohlcuje ultrafialové záření a tím se ozonosféra zahřívá. V troposféře dochází k pohlcování slunečního záření vodní parou, oxidem uhličitým, prachem a kapkami vody v mracích.

Z celkové produkce sluneční energie se 19% zachytí v atmosféře, 34% se odrazí od mraků a částec prachu zpět do vesmíru a tak na zemi dopadá zbývající tok energie a to je 47% (obr. 1.2).



Obrázek 1.2 přeměny slunečního záření. [1]

Jak je vidět z (obr. 1.2), zbývající tok energie se mění v teplo a dále prochází různými přeměnami.

- Teplo se ze Země vyzařuje jako infračervené záření (14%), ve vzduchu se absorbuje s víceatomovými plyny a tím dochází k trvalému zvyšování teploty.
- Energie dopadající na rozsáhlé plochy oceánu se spotřebuje na vypařování vody (23%). Vzniklá vodní pára je unášena nahoru, kde v chladnějších místech zkondenzuje a předá své skupenské teplo.
- Zbytek slunečního záření pohlceného zemským povrchem (10%) je odveden konvekcí. Kinetická energie větru, která vzniká rozdílem hustot teplejšího vzduchu s chladnějším. Tato energie je na celé Zemi 10^{20} J a při proudění vzduchu jí část ztrácíme, tuto ztrátu musí Slunce dodávat zpět, je to asi 1% z celkového slunečního toku zachyceného povrchem Země. [1],[3],[4]

1.2. Využití slunečního záření

V dnešní moderní době se snažíme co největší část dopadající energie přeměnit ve svůj prospěch. Nejčastější přeměny dopadajících fotonů jsou:

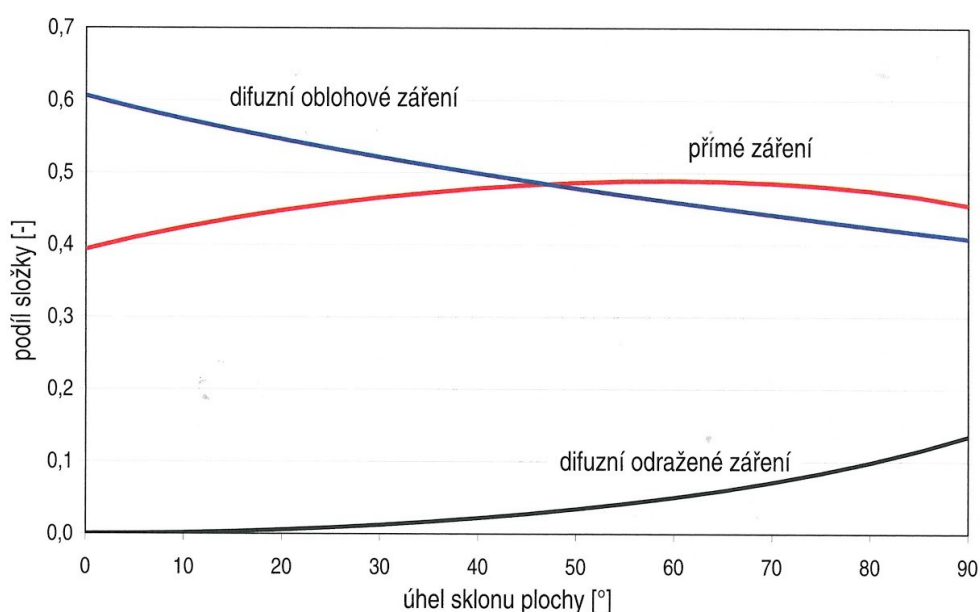
- Přeměna v energii tepelnou, která se uskutečňuje převážně ve slunečních kolektorech a jde o získání nízko-potencionálního tepla do 100°C . Tato metoda se používá pro ohřev TUV nebo vytápění budov. Dále můžeme využít optickou koncentraci dopadajícího slunečního záření a získat tím až 4000°C .
- Přeměna v energii mechanickou má velmi malou účinnost, neboť tlak fotonů je nepatrný.
- Přeměna v energii elektrickou se uskutečňuje za pomoci fotovoltaiického jevu, při němž fotony působí na elektrony v některých tuhých látkách.

- d) Přeměna na chemickou energii je možná na základě fotochemické reakce. Fotony se pohltí molekulou a zasáhnou do její struktury. Vhodné jsou jen ty reakce, které probíhají endotermicky a výsledné produkty jsou exotermické.[1],[4]

1.3. Přímé a difuzní záření

Na vnější obal atmosféry Země dopadá sluneční záření v nerozptýlené formě. Po průchodu atmosférou se paprsky rozptýlí na částicích prachu, krystalcích ledu nebo kapičkách vody. Rozptýlené záření, které přichází z oblohy, se nazývá difuzní sluneční záření a nemá směr, vyzařuje se všemi směry se stejnou intenzitou. Naopak sluneční záření, které je nerozptýlené se nazývá přímé sluneční záření a má směrový charakter. Jednoduše řečeno, přímé sluneční záření je tehdy, když je na obloze vidět Slunce. Ještě existuje tzv. odrazové sluneční záření, tj. sluneční záření odražené od okolních ploch.

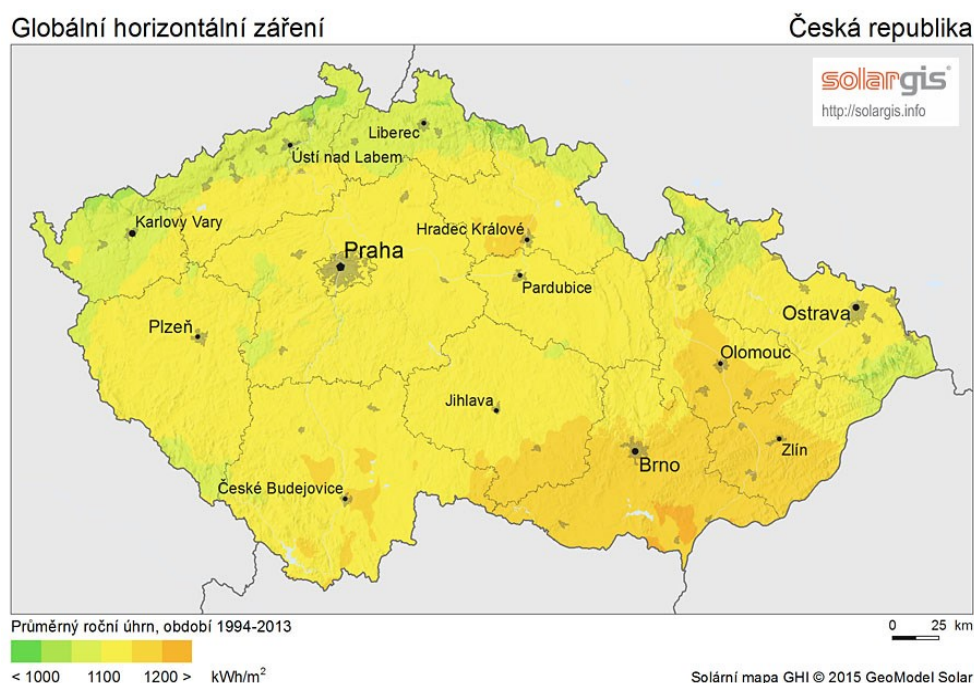
Jak si lze všimnout z (obr. 1.3), různé druhy slunečního záření se mění při různém úhlu dopadu na osluněnou plochu. Křivky v (obr. 1.3) byly vymodelovány pro jižně orientovanou plochu a údaje typického meteorologického roku pro Prahu. Jak lze vidět, tak při větším sklonu plochy od vodorovné roviny stoupá difuzní odražené záření. Jednoduše lze říci, že vidí více terénu. Naopak difuzní oblohové záření při stoupajícím úhlu klesá v důsledku, že plocha „nevidí“ větší část oblohy.[4]



Obrázek 1.3 Sluneční záření. [4]

1.4. Roční hodnoty pro ČR

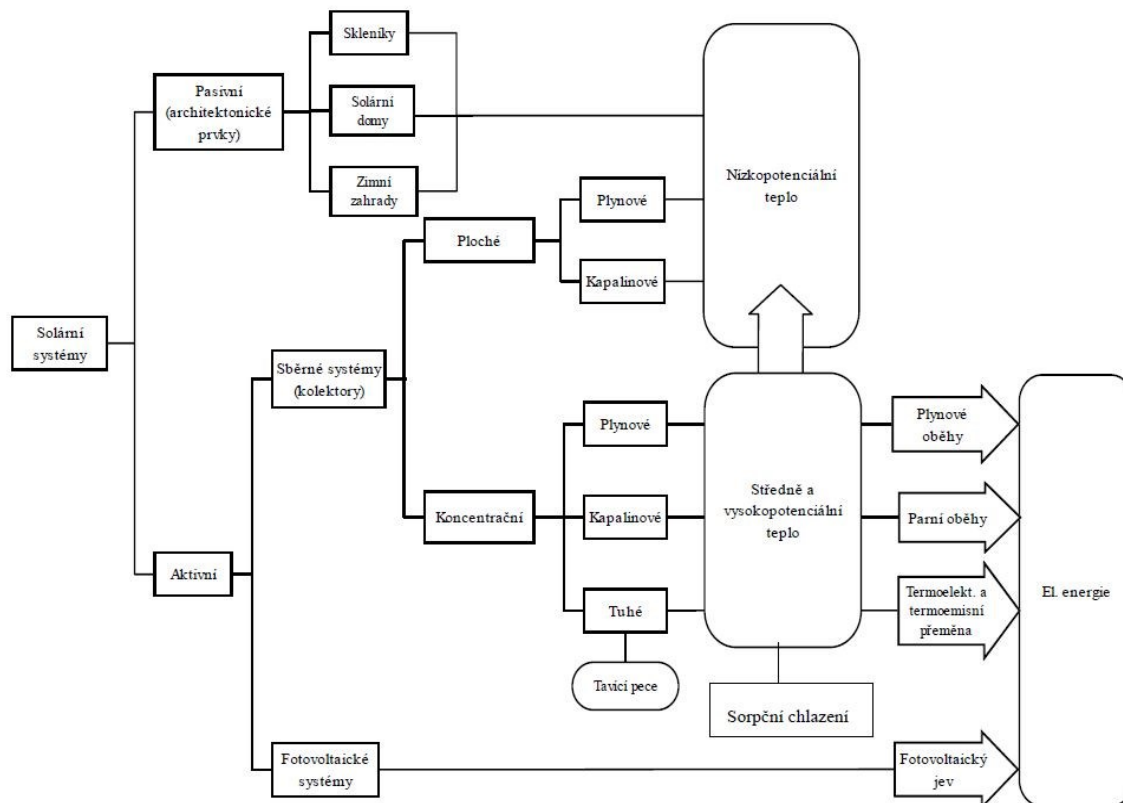
Roční úhrny sluneční energie dopadající na plochu české republiky se pohybují v rozptylu 1 000 až 1200 kWh/(m²·rok), tzn. 3 600 až 4300MJ/(m²·rok). Na (obr. 1.4) je vidět průměrný roční úhrn za období 1994 až 2013. Lze vidět na obrázku, že největší část slunečního záření dopadá na jižní Moravu. Naopak nejmenší část je na severní části naší republiky okolí Krušných Hor. [4]



Obrázek 1.4 průměrný roční úhrn, za období 1994-2013. [5]

2. Rozdělení solárních systému

Základní rozdělení solárních systému je vidět na (obr 2.1). Dominantní systémy jsou dva a tj. pasivní solární systémy a aktivní solární systémy.



Obrázek 2.1 Rozdělení solárních systému.[6]

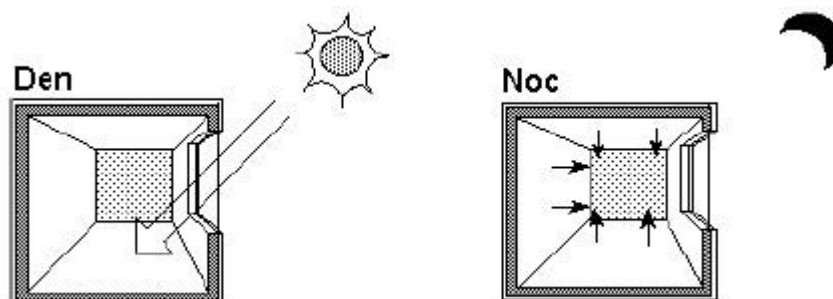
2.1. Pasivní solární systémy

Pasivní solární systémy lze považovat za nejjednodušší způsob transformace slunečního záření na další jeho využití např. pro vytápění či chlazení budov. Využití sluneční energie se provádí v solární architektuře budov, bez pomoci mechanických a strojních prvků. Zisk ze slunečního záření se dosahuje správnou orientací průsvitných částí obvodového pláště směrem na jih. Velkým přínosem u rodinných domů je umístění obytných částí budov na jižní stranu budovy. Značný přínos pro pasivní systémy, je rozvoj nových typu zasklení oken. Již obyčejné dvojsklo je zdrojem tepla, neboť nám přes něj prochází více sluneční energie do místnosti, než jsou ztráty místnosti. [6]

Dále můžeme rozdělit pasivní systémy na tři hlavní podsystémy:

2.1.1. Přímý systém

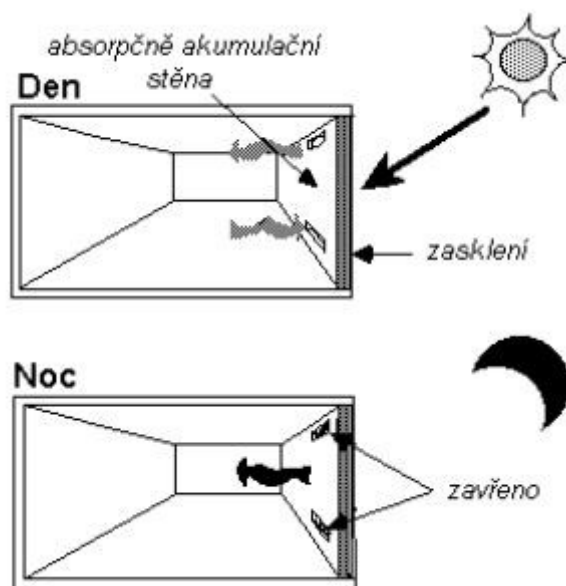
Sluneční záření, které prochází skrz okna je absorbováno do podlahy a stěn. V noci je absorbované teplo vyzařování zpět do místnosti. Nutnost barevného řešení interiéru, robustní konstrukce a bez koberců.



Obrázek 2.2 Přímý systém. [6]

2.1.2. Nepřímý systém

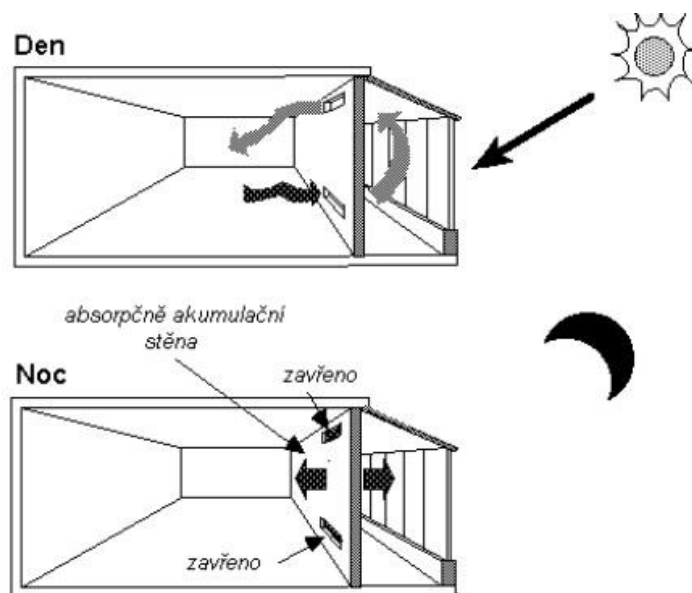
Využívá se tzv. Trombeho stěny, kdy je venkovní stěna začerněná a pokrytá zaklením. Otvíráním a zavíráním ventilačních otvorů se mění topný režim. V noci se využívá teplo naakumulované ve stěně.



Obrázek 2.3 Nepřímý systém.[6]

2.1.3. Izolační systém

Využívá se částí budov, které se nepoužívají k obýváním, a vzniká zde vzduchová mezera, která má dobré izolační vlastnosti. Používají se při výpomoci vytápění obytných prostorů.



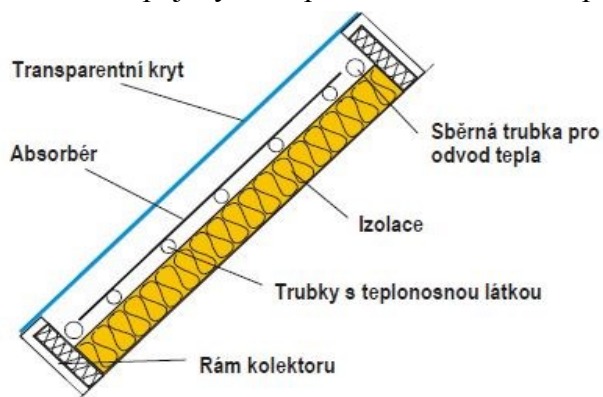
Obrázek 2.4 Izolační systém. [6]

2.2. Aktivní systémy

Tento systém se dělí na termosolární systémy, které transformují sluneční záření v teplo a fotovoltaické systémy na elektřinu. U termosolárních systému můžeme přeměnit sluneční záření pomocí zrcadel a čoček na teplo, zde se dosahuje vyššího tepla, než pohlcování přímo na plochu. U plochých systémů je nutné absorbované teplo dále odvést teplotonosnou látkou, která může být buď kapalina či plyn. [6]

3. Solární kolektory

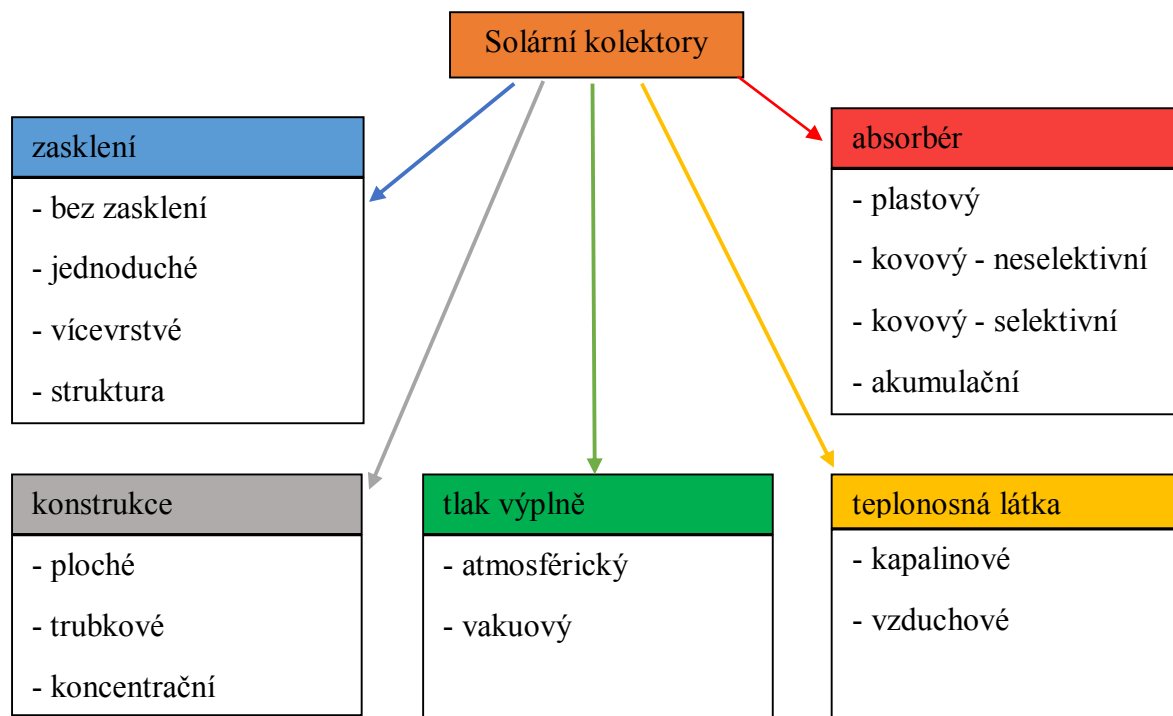
Solární kolektor je zařízení, které transformuje sluneční záření na tepelnou energii, která se předá teplotonosné látce, protékající kolektorem. Základní součásti kolektoru je absorpční plocha, která absorbuje sluneční záření a tím se zahřívá. Zahřátá plocha předá teplo teplotonosné látce, která proudí kanálkami spojenými s plochou. Před absorpční plochou bývá prosklení, které nám snižuje ztráty sáláním. Na zadní straně bývá obvykle tepelná izolace. [4]



Obrázek 3.1 Solární kolektor

3.1. Druhy solárních kolektorů

Základní rozdělení můžeme vidět v diagramu pod textem. Nejčastějším kritériem rozdělení je podle teplotnosné látky. V ČR se používá výhradně jako teplotnosná látka kapalina (voda, nemrznoucí směs s vodou nebo propylenglykol). Vzduch jako teplotnosná látka se v ČR používá jen zřídka. [4]



Obrázek 3.2 Rozdělení solárních kolektorů. [4]

3.1.1. Nekryté (nezasklené) kolektory

Tento typ kolektoru se vyznačuje velkými tepelnými ztrátami, neboť odpadá vzduchová mezera mezi krytem a absorbérem. Jeho výkon závisí na příznivosti počasí (teplota okolí, teplota oblohy, rychlost větru). Čím se zvyšuje rychlost větru, tím klesá výrazně výkon kolektoru. Využívají se pro ohřev bazénové vody nebo předehřev studené vody.[4]



Obrázek 3.3 Nekrytý kolektor. [3]

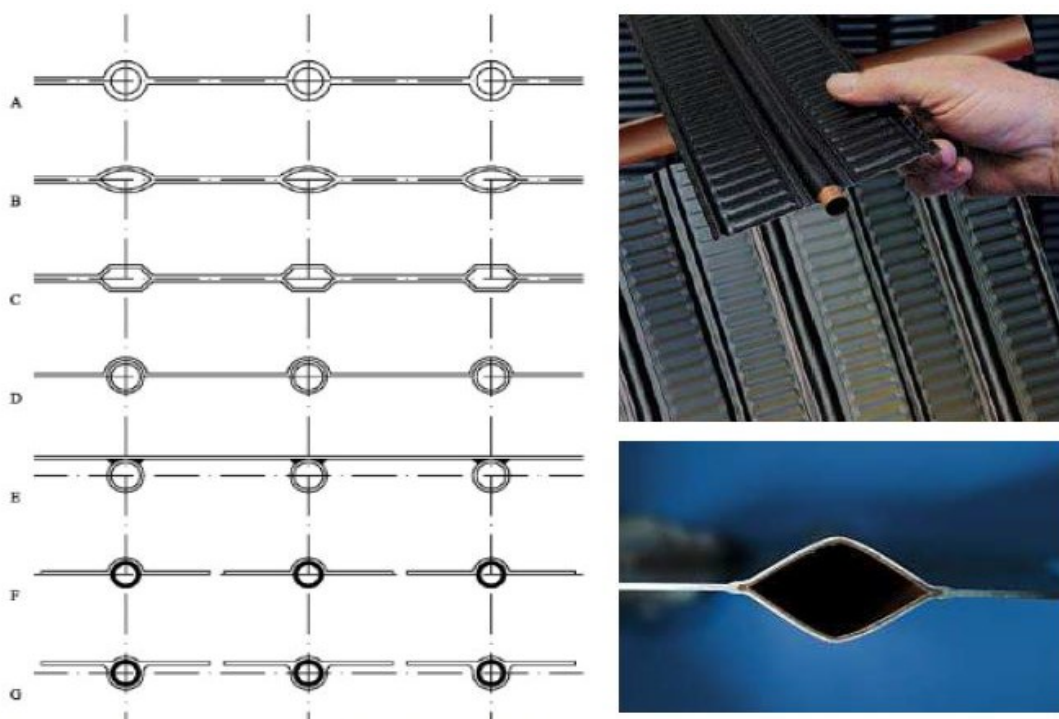
3.1.2. Ploché atmosférické kolektory

Hlavní znakem toho kolektoru je plochý absorbér a ploché zasklení. V dnešní době se spíše vyrábějí ploché kolektory s jednoduchým zasklením, ale existují kolektory s dvojitým zasklením. Solární sklo bývá v čířém nebo texturovaném provedení a absorbér má selektivní povrch. Absorbér může být celoplošný nebo dělený do lamel. Plocha absorbéru je navařena na trubkový registr, ve kterém proudí teplotonosná látka, která odvádí teplo. Rám kolektoru je buď vylisovaná skříň, nebo je složený z profilu. Instalace těchto kolektorů, bývá přímo do střechy budovy nebo části fasády.[4]



Obrázek 3.4 Instalace ploché kolektoru na budovy [3]

Na (obr 3.5) jsou uvedeny různé výrobní možnosti absorbéru. A, B a C jsou dvě desky přivařeny u sebe s vylisovanými kanálky. Možnost D je trubka zasunuta do drážky plechu. Provedení E je trubka přivařená k absorbéru. Varianta F jsou lamely zasunuty do drážek absorbéru. A nakonec varianta G jsou k registru připojeny odlité hliníkové lamely s dutinami.[3]



Obrázek 3.5 Možnosti provedení plochého absorbéru. [3]

3.1.3. Ploché vakuové kolektory

Ploché vakuové kolektory mají snížený tlak v prostoru mezi absorbérem a zasklením. Dojde k výraznému omezení proudění tímto prostorem a ke zmenšení tepelných ztrát. Výrobní provedení skříně kolektoru je lisováním. Vznikne nám tzv. bezešvá vana, na kterou je sklo napojené přes těsnění a tím se dosáhne velmi dobrého těsnění. Sklo je proti vnějšímu přetlaku a poruše vyztuženo nerezovými podpůrnými elementy. Kolektor se udržuje s mírným podtlakem 1 – 10 kPa. Jeho konstrukce je navržena tak, aby se při podtlaku části svírající k sobě a samy utěsňovaly. Kolektory se dodávají s ventilem na znovu do vakuování a manometrem, který hlídá ztráty vakua. [4]

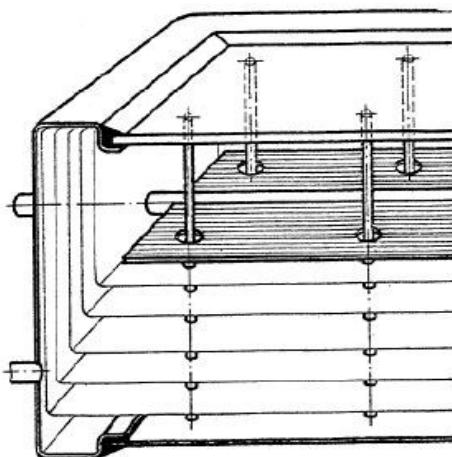


Obrázek 3.6 Plochý vakuový kolektor. [7]

Jak již bylo zmíněno solární sklo, je proti prasknutí podepřeno podpůrnými elementy. Tyto elementy jsou navrženy, tak aby se nedotýkaly ploch absorbéru a těsnění, z důvodu vyloučení tepelných mostů. Starší typ podpůrných elementů je naznačen na (obr 3.7)

3.1.4. Trubkové vakuové kolektory

Trubkové vakuové kolektory mají válcové zasklení a podtlak mezi absorbérem a zasklením se udržuje okolo 1 mPa. Důsledkem vysokého vakua dosahujeme minimální přenos tepla vedením a konvekcí. Přenos tepla mezi absorbérem a zasklením se uskutečňuje především sáláním. Zbývající plyny se vylučují pomocí tzv. getru, které využívají pohlcovací schopnosti baria. Getrová vložka se nahřeje a usadí na dno trubice jako stříbrné zbarvená vrstva. Při poruše vakua se getrová vrstva obarví a tím indikuje poruchu. Jednoduché zjištění poruchy vakua je teplota povrchu trubky.



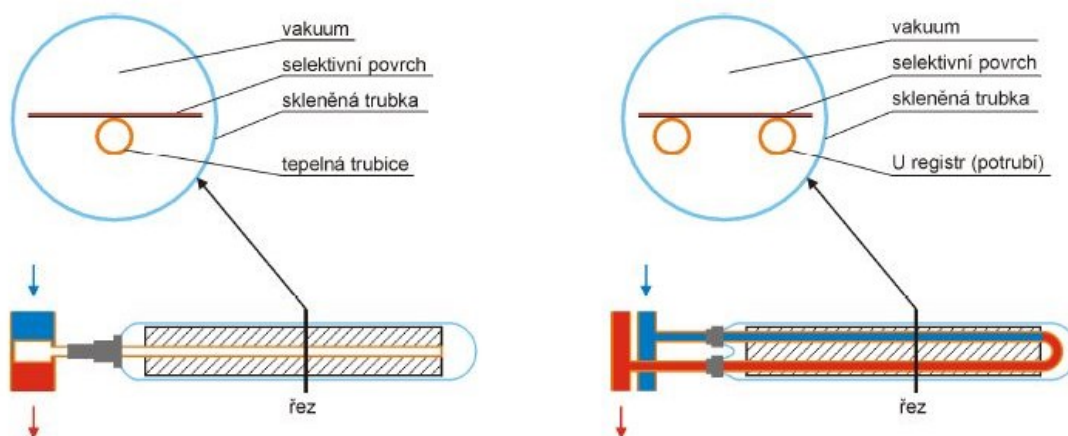
Obrázek 3.7 Starší typ podpůrných elementů.[3]

Když je vše v pořádku tak i za velké intenzity slunečního záření má trubka povrchovou teplotu na úrovni okolí, když není vše v pořádku tak teplota je mnohem vyšší.

Kvalitní trubkové vakuové kolektory mají nízké tepelné ztráty i při značných rozdílech teplot mezi absorberem a okolním prostředím. Využívají tak efektivně sluneční záření. Potíží je, když sluneční kolektor zapadá sněhem, nebo se udělá na něm námraza. V tom to případě nelze urychlit odtávání přepouštěním teple vody kolektorem. Musím počkat než sníh nebo námraza odtaje působením slunečního záření.[4]

3.1.5. Trubkové kolektory s jednostěnnou trubkou

Obecný typ vakuového kolektoru má jednostěnnou skleněnou trubici, ve které je absorber jako plochá lamela. Odvod tepla zajišťují trubice, která je přímo v absorberu. Muže být napojena na U-registr nebo přímo protékat koncentrickým potrubím. Trubice se vyrábějí v rozmezí 40 až 150 mm z borikřemičitého skla. Trubky se dodávají s antireflexivním povrchem, který nám může propouštět až 96% slunečního záření. Absorbér je na teplonosnou trubici navržen laserově a tím vznikají dobré podmínky pro přestup tepla. Tepelná trubice musí být na spojích dobře těsná, to se dosahuje použitím slitin niklu a železa, které mají součinitel tepelné roztažnosti stejný jako borikřemičité sklo. Tyto kolektory jsou již na vysoké technické úrovni. Mají vysokou účinnost, ale jsou velmi investičně nákladné. [4]



Obrázek 3.8 Příčný řez jednostěnným trubkovým vakuovým kolektorem s tepelnou trubicí (vlevo) a s přímo protékáním U-registrem (vpravo).[3]

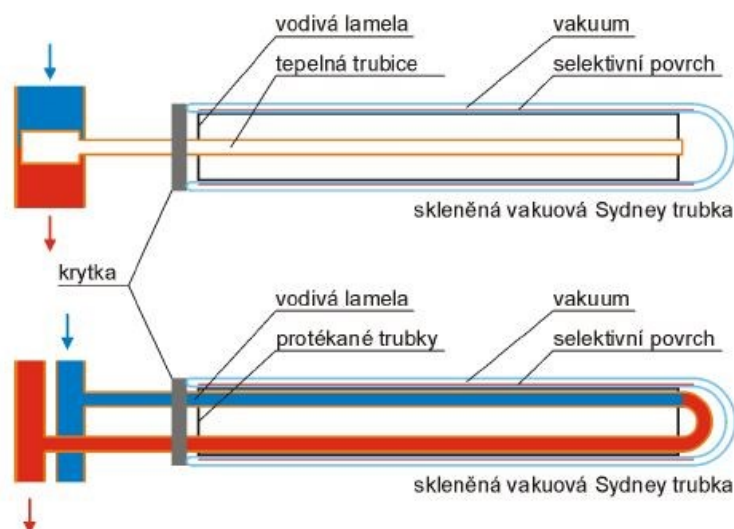
3.1.6. Trubkové kolektory s dvoustěnnou skleněnou trubkou

Tyto kolektory využívají tzv. Sydney trubku. Je to dvoustěnná skleněná trubice, kdy vnitřní trubice je jako absorber a zachycuje sluneční záření pro přeměnu tepla a vnější složí jako ochrana proti atmosférickým vlivům. Mezi těmito dvěma trubkami je vakuum a tlaku 1 mPa. Vyrábí se v rozměrech 58/47 a 47/37 mm s tloušťkami zasklení 1,6 a 1,8 mm v délkách 1 až 2 m. Konstrukční řešení je buď protékáním U-registrem nebo s tepelnou trubicí. Odvod tepla je pomocí teplosměnné lamely, která je spojena s vnitřním povrchem absorberu a vnějším povrchem potrubí ve kterém proudí teplonosná látka.

Tyto kolektory se vybavují ještě zrcadly na zvýšení množství dopadající energie na absorber. Levnější kolektory mají plochý reflektor umístěné za trubkami. Dražší využívají různě tvarované povrchy. Při použití reflektoru nám klesá počet trubek.[4]



Obrázek 3.9 Příčný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým Sydney kolektorem s tepelnou trubicí (vlevo) a s přímo protékajícím U-registrem (vpravo).[3]



Obrázek 3.10 Příčný řez dvoustěnným trubkovým vakuovým Sydney kolektorem s tepelnou trubicí (nahore) a s přímo protékajícím U-registrem (dole).[3]

3.1.7. Koncentrační kolektory

Využívají koncentraci slunečního záření odrazem od zrcadel nebo lomem čočkou do ohniska. V ohnisku je umístěn absorbér, jehož plocha je výrazně menší než odrazná plocha. Dle tvaru ohniska můžeme mít kolektor s lineárním ohniskem nebo kolektor s lineární Fresnellovou čočkou a nebo heliostaty. Dosahuje se vysokých teplot a nízkých tepelných ztrát. V průmyslových aplikacích se pracuje koncentračním poměrem 10 až 40 a dosahuje se tak teplot 100 až 300 °C. [4]



Obrázek 3.11 Kolektor s bodovým ohniskem (vlevo), heliostat (vpravo).

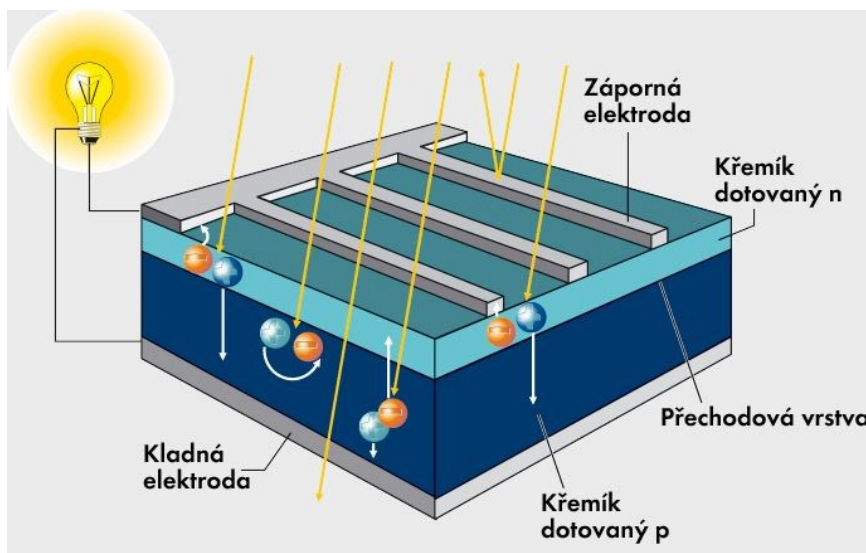
4. Fotovoltaika

V solárním článku se mění světelné záření na elektrickou energii. Tento způsob přeměny objevil v roce 1839 francouzský fyzik Alexander Bequerel. Solární článek je složen z polovodičových materiálů, se směsí výhradně z křemíku. V solárním článku jsou dvě elektricky rozdílné polovodičové oblasti, a to je kladná oblast a záporná oblast. Mezi nimi vzniká vnitřní elektrické pole, které je způsobeno difuzí nadbytečných elektronů z polovodiče n do polovodiče p a přechodu pn. „V oblasti n vrstvy prostorového náboje zůstávají kladné, v oblasti p záporně nabitě atomy dotujícího prvku. Tím vzniká elektrické pole, které je orientováno proti směru pohybu nosičů náboje, takže difuze elektronů nemůže pokračovat do nekonečna“.

Při dopadu fotonů na solární článek se začínají elektrony uvolňovat, tím se z nich stávají volně pohyblivé a na svém místě nechávají kladný náboj. Vzniklé elektrické pole způsobuje přitahování nábojů do opačných směrů. Kladný náboj jde k zadní straně, záporný k přední straně. Rozdíl potenciálu mezi zadní a přední stranou lze naměřit jako elektrické napětí. Napětí na prázdno se u solárního článku pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,7 V. Uzávěře-li elektrický obvod, začne nám protékat elektrický proud.[8]

4.1. Solární článek

Klasický solární článek se skládá ze dvou křemíkových vrstev. Strana, na kterou přichází sluneční záření je záporně dotovaná fosforem, vrstva ležící pod ní je dotovaná bórem. Pro odběr proudu musí být na zadní a přední straně umístěny kovové elektrody jako kontakty. Přední strana elektrody se skládá z tenké mřížky, aby propouštěla co nejvíce slunečního záření. Zadní strana je koncipována jako celoplošná elektroda. Aby článek absorboval, co nejvíce slunečního záření pokrývá se přední strana ještě antireflexní vrstvou.[8]



Obrázek 4.1 Křemíkový solární článek.[9]

4.1.1. Monokrystalické články

Skládají se z jednoho krystalu. Vyrábějí se čtvercové o délce hrany 10, 12,5 a 15 cm. Povrchy článku jsou tmavomodré až černé. Jejich průměrná účinnost je okolo 15 až 17%. Vyrábějí se pomalým tažením z roztaveného křemíku ve formě tyčí o průměru 30 cm. Následně se rozřeže na tenké plátky o tloušťce 0,3 mm. Na články, které jsou dotovány příměsí typu p se napaří tenká vrstva dotována difuzí fosforu. Po umístění zadního, předního kontaktu a antireflexní vrstvy je článek hotov. [8],[10]

4.1.2. Polykrystalické články

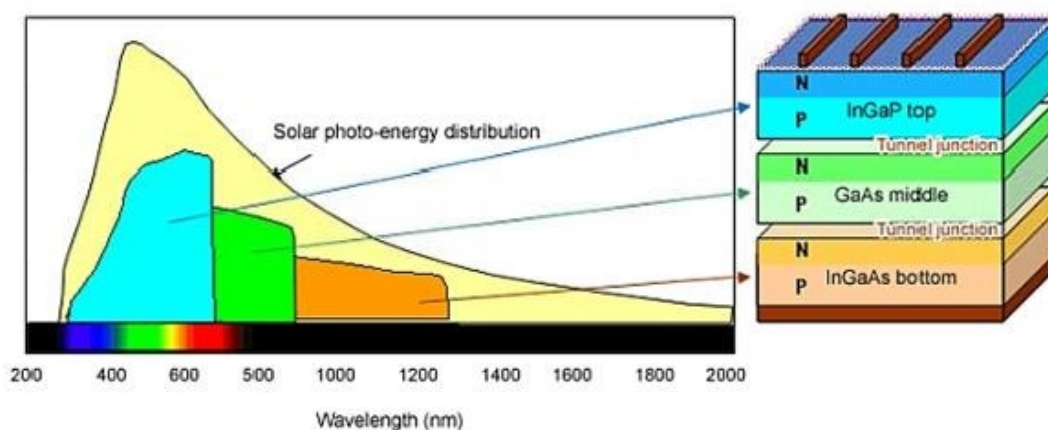
Jsou to čtvercově modře třpytící se mnohokrystalové články, které se vyrábějí o délce hrany 10, 12,5, 15 15,6 nebo 21 cm. Jejich průměrná účinnost je okolo 13 až 16%. Mají výrobně menší náklady než monokrystalické články. Vyrábějí se blokovým litím. Bloky mají rozměry 40 x 40 cm a výšku 30 cm. Pak se nařežou na tyče a následně na destičky. [8],[10],[6]

4.1.3. Tenkovrstvé amorfnní články

Jejich předností je vysoká absorpce světla, velké napětí na prázdko, malá spotřeba materiálů a energie. Jejich průměrná účinnost je okolo 10%. Mají velkou nevýhodu vysoká degradace článku s časem. Zástupci polovodičů typu chalkogenidů a kadmia, anebo kombinace mědi a india, galia. Články typu CdTe, CuInSe₂ a amorfnní články křemíku a-Si:H. Použití spíše v kapesním provedení např. kapesní kalkulátory.[6]

4.1.4. Vícevrstvé články

Základem je poskládání více článků rozdílných typu. Účinnost se dosahuje okolo 30% elektrické. Zakládají si na tom, že různé typy článků jsou, jinak citlivé na intervaly vlnových délek. [6]



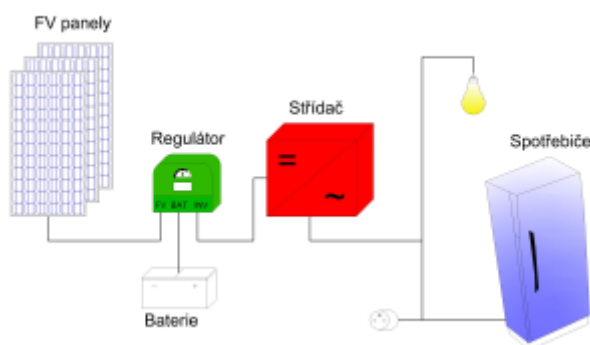
Obrázek 4.2 Třívrstvý FV článek.

4.2. Typy nasazení FV systému

Základní FV systémy se rozdělují na dva, a to buď jsou zapojeny do distribuční sítě, nebo nejsou.

4.2.1. Autonomní systémy

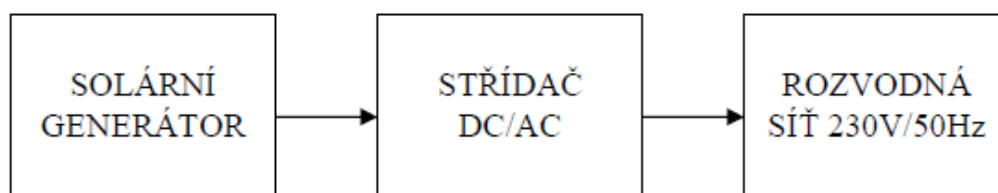
Nejsou zapojeny do rozvodné sítě, skládají se z polí fotovoltaických modulů a akumulátoru. Možnost napojení přímo do spotřebiče. Jejich použití se vyskytuje v oblastech vzdálených od veřejné sítě. Používají se např. v kosmických lodích, nebo plachetnic. Při užití v zimní období nutno mít vedlejší zdroje energie např. větrný generátor. [6],[11]



Obrázek 4.3. Autonomní systém. [12]

4.2.2. Systémy napojené na síť

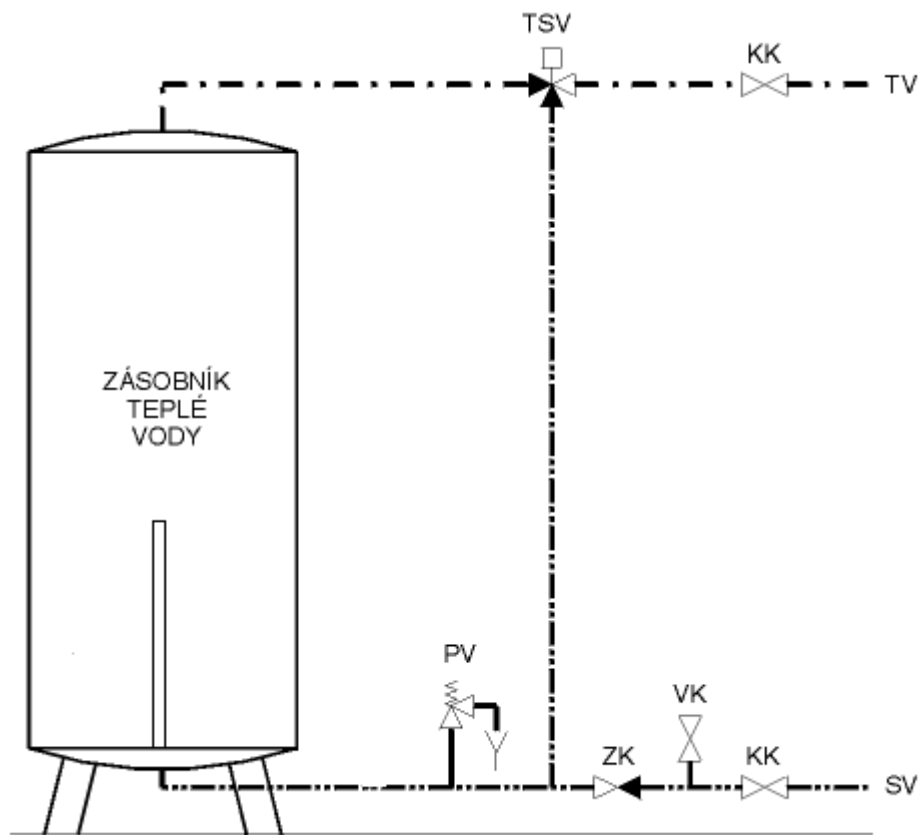
Systémy napojené na veřejnou síť vyžadují měniče. Měníče mohou být jednofázové nebo třífázové a přeměňují stejnosměrný proud na střídavý. Měníče taky plní ochranné a bezpečnostní funkce a udržují FV panel v aktuálním optimálním provozním bodě. Jejich realizace je nejčastěji na rodinných domech v rozmezí 1 až 10 kW_p. Jednoduché schéma zapojení je vidět na (obr. 4.3). [6], [11]



Obrázek 4.3 Zapojení do veřejné sítě.[11]

5. Popis stávající soustavy s jedním zásobníkem

Stávající zásobník je umístěn v kotelně v přízemí a je na 200l. Napájen z městského vodovodu. Voda je v zásobníku ohřívána pouze tepelnou spirálou na 2 kW.



Obrázek 5.1 Stávající soustava na teplou vodu.

zpětná klapka (ZK), pojistný ventil (PV), napouštěcí a vypouštěcí ventil (VK), uzavírací armatura (KK), termostatický směšovací ventil (TSV), teplá voda (TV), studená voda (SV)

6. Návrh termosolární soustavy

Návrh termosolární soustavy spočívá ve stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody, výpočtů kapacitních a bilančních solárních zisků a návrhu jednotlivých komponent solární soustavy.

6.1. Stanovení potřeby tepla na přípravu teplé vody

Pro stanovení jsem vycházel z denní potřeby teplé vody 50 kg/os.den. V rodinném domě žije pět osob.

Pro měsíc leden se měsíční spotřeba teplé vody, pro pět osob vypočítá:

$$m_m = m \cdot o \cdot n = 50 \cdot 5 \cdot 31 = 7750 \text{ kg} \quad (1)$$

kde:

o – počet osob [-]

m – množství vody na jednu osobu [kg]

n – počet dní v měsíci [-]

Tabulky s dalšími měsíci v roce

měsíc	1	2	3	4	5	6
m_n [kg]	7750	7000	7750	7500	7750	7500

Tabulka 1. Měsíční spotřeby (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
m_n [kg]	7750	7750	7500	7750	7500	7750

Tabulka 1. Měsíční spotřeby (2/2).

6.1.1. Měsíční potřeby tepla pro TV

Pro náš případ budeme ohřívat vodu na 60°C, z průměrné studené vody, kterou jsme určili ze zadaných hodnot v programu Excel.

Tabulky průměrných teplot studené vody pro jednotlivé měsíce v roce

Uvedené hodnoty byly vypočteny v programu Excel, z databáze TRNSYS pro Ostravu.

měsíc	1	2	3	4	5	6
t_{s_v} [°C]	8,25	7,68	8,10	9,44	11,35	13,35

Tabulka 2. Průměrné teploty studené vody (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
t_{s_v} [°C]	14,80	15,41	14,97	13,61	11,69	9,74

Tabulka 2. Průměrné teploty studené vody (2/2).

Pro měsíc leden bude potřeba tepla:

$$Q_m = \frac{m_m \cdot c_{H_2O} \cdot \Delta t \cdot (1 + z)}{3600} = \frac{7750 \cdot 4,187 \cdot (60 - 8,25) \cdot (1 + 0,15)}{3600} = 536,43 \text{ kWh} \quad (2)$$

kde:

m_m – měsíční spotřeba teplé vody pro pět osob [kg]

c_{H_2O} – měrná tepelná konstanta vody [$\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

Δt – rozdíl teplota ($t_2 - t_{s_v}$) [°C]

z – uvažované soustavy ztráty 15% [-]

Tabulky měsíčních potřeb tepla pro TV

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_m [kWh]	536,4	489,8	537,9	507,1	504,3	468,3

Tabulka 3. Měsíční potřeby tepla pro TV (1/2).

Měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_m [kWh]	468,5	462,2	451,7	480,9	484,6	521,0

Tabulka 3. Měsíční potřeby tepla pro TV (2/2).

6.1.2. Roční potřeba tepla

Roční potřebu tepla stanovíme sečtením jednotlivých měsíčních potřeb.

$$Q_c = \sum_{i=1}^{12} Q_m = 5913 \text{ kWh} \quad (3)$$

kde:

Q_m – měsíční potřeba tepla pro TV [kWh]

6.2. Kapacitní a bilanční výpočty solárních zisků

Z databáze METEONORM stanovíme pro jednotlivé měsíce celkové sluneční záření dopadající na plochu, která je orientovaná na jih se sklonem 45°. Sluneční záření je označeno I [kW/m²]

měsíc	1	2	3	4	5	6
I [kW/m ²]	49,0	64,8	97,1	119,8	148,7	138,5

Tabulka 4. Sluneční záření pro jednotlivé měsíce (1/2).

Měsíc	7	8	9	10	11	12
I [kW/m ²]	146,7	143,7	97,0	79,7	40,1	28,2

Tabulka 4. Sluneční záření pro jednotlivé měsíce (2/2).

6.2.1. Volba slunečního kolektoru.

Sluneční kolektor volím KPS11+ANT od firmy Regulus spol. s r.o. Jeho technické parametry jsou uvedeny v příloze A. Solární kolektor.

6.2.2. Výpočet měsíčního přínosu ze slunečního kolektoru KPS11+ANT

Prvně si vypočteme redukovanou teplotu.

$$A = \frac{tk - ta}{I} = \left[\frac{K \cdot m^2}{W} \right] \quad (4)$$

kde:

tk - je střední teplota vstupující do kolektoru a vypočte se $tk = (t_2 + ts_v) / 2$ [°C]

ta - je venkovní teplota okolí [°C]

t_2 - je 60 [°C]

I - je dopadající sluneční záření [kW/m²]

ts_v - je teplota vody ve vodovodu [°C]

Databáze METEONORM nám udává hodnoty hodinu po hodině. Tabulka pro jednotlivé redukované teploty A a tabulky pro tk , jsou uvedeny v příloženém CD v Excelu.

Dále vypočteme účinnosti, slunečního kolektoru hodinu po hodině. Hodnoty jsou v příloženém CD v Excelu. Jelikož ne vždycky svítí slunce, tak účinnosti, které nám vychází pod 0,2 nebudeme brát v úvahu, protože nám neposkytnout skoro žádný tepelný zisk. To nám ukazuje sloupec s názvem účinnost real. viz Excel. Zde uvedu jenom výstřižek z programu Excel pro ukázkou.

Jak je vidět z (obr. 5.1) např. 1.7.2015 v 6 hod bylo sluneční záření jenom 113 W/m² a účinnost vychází menší jak 0,2 proto reálná účinnost je 0. Oproti tomu 2.7.2015 v 11 hod bylo sluneční záření 701 W/m² účinnost vychází 0,713 a proto i reálná účinnost je okolo 71%

η_0	a_1	a_2	Datum	I [W/m ²]	ta [°C]	ts_v [°C]	tk [°C]	A	účinnost Kol.	účinnost real
0.79	3.48	0.0056	1.7.2015 1:00	0	14.1	14.2	37.08	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 2:00	0	14.8	14.2	37.08	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 3:00	8	15.4	14.2	37.08	2.71	-8.971	0.000
			1.7.2015 4:00	38	15.9	14.2	37.08	0.56	-1.216	0.000
			1.7.2015 5:00	99	16.7	14.2	37.08	0.21	0.050	0.000
			1.7.2015 6:00	143	17.3	14.2	37.08	0.18	0.161	0.000
			1.7.2015 7:00	162	17.9	14.2	37.09	0.12	0.365	0.365
			1.7.2015 8:00	185	18.4	14.2	37.09	0.10	0.428	0.428
			1.7.2015 9:00	197	19	14.2	37.09	0.09	0.461	0.461
			1.7.2015 10:00	281	19.7	14.2	37.09	0.06	0.569	0.569
			1.7.2015 11:00	280	20.2	14.2	37.09	0.06	0.574	0.574
			1.7.2015 12:00	156	20.3	14.2	37.09	0.11	0.405	0.405
			1.7.2015 13:00	141	20.3	14.2	37.09	0.12	0.364	0.364
			1.7.2015 14:00	254	20.6	14.2	37.09	0.06	0.558	0.558
			1.7.2015 15:00	146	20.5	14.2	37.09	0.11	0.384	0.384
			1.7.2015 16:00	119	20.4	14.2	37.10	0.14	0.289	0.289
			1.7.2015 17:00	54	20.1	14.2	37.10	0.31	-0.335	0.000
			1.7.2015 18:00	6	19.6	14.2	37.10	2.92	-9.645	0.000
			1.7.2015 19:00	0	18.7	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 20:00	0	18.4	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 21:00	0	17.8	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 22:00	0	16.4	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			1.7.2015 23:00	0	16.4	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			2.7.2015 0:00	0	15.9	14.2	37.10	-1.00	0.000	0.000
			2.7.2015 1:00	0	15.5	14.2	37.11	-1.00	0.000	0.000
			2.7.2015 2:00	0	15.1	14.2	37.11	-1.00	0.000	0.000
			2.7.2015 3:00	16	14.8	14.2	37.11	1.39	-4.236	0.000
			2.7.2015 4:00	36	15.4	14.2	37.11	0.60	-1.382	0.000
			2.7.2015 5:00	22	15.5	14.2	37.11	0.98	-2.747	0.000
			2.7.2015 6:00	114	16.2	14.2	37.11	0.18	0.130	0.000
			2.7.2015 7:00	281	17.6	14.2	37.11	0.07	0.541	0.541
			2.7.2015 8:00	226	18.4	14.2	37.11	0.08	0.493	0.493
			2.7.2015 9:00	245	19	14.2	37.11	0.07	0.525	0.525
			2.7.2015 10:00	537	20.4	14.2	37.11	0.03	0.679	0.679
			2.7.2015 11:00	701	22	14.2	37.12	0.02	0.713	0.713
			2.7.2015 12:00	670	23.2	14.2	37.12	0.02	0.716	0.716
			2.7.2015 13:00	478	23.8	14.2	37.12	0.03	0.691	0.691
			2.7.2015 14:00	337	24	14.2	37.12	0.04	0.652	0.652
			2.7.2015 15:00	305	24.2	14.2	37.12	0.04	0.640	0.640
			2.7.2015 16:00	143	23.9	14.2	37.12	0.09	0.461	0.461
			2.7.2015 17:00	57	23.3	14.2	37.12	0.24	-0.073	0.000
			2.7.2015 18:00	13	22.5	14.2	37.12	1.12	-3.216	0.000
			2.7.2015 19:00	0	21.4	14.2	37.12	-1.00	0.000	0.000
			2.7.2015 20:00	0	20.2	14.2	37.12	-1.00	0.000	0.000

Obrázek 6.1 Výpočet z programu Excel.

6.2.3. Účinnost kolektoru

Obecný vzorec.

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot A - a_2 \cdot A^2 \cdot I = [-] \quad (5)$$

kde:

I - je dopadající sluneční záření [W/m²]

a_1 - je lineární ztrátový součinitel pro náš případ 2,495 [W·m⁻²K⁻¹]

a_2 - je kvadratický ztrátový součinitel pro náš případ 0,028 [W·m⁻²K⁻²]

A - je redukována teplota. [K·m²/ W]

η_0 - je optická účinnost pro náš případ 0,781 [-]

6.2.4. Měrný příjem ze solárního kolektoru

Vypočteme ho vynásobením dopadajícím slunečním zářením a účinností reálnou.

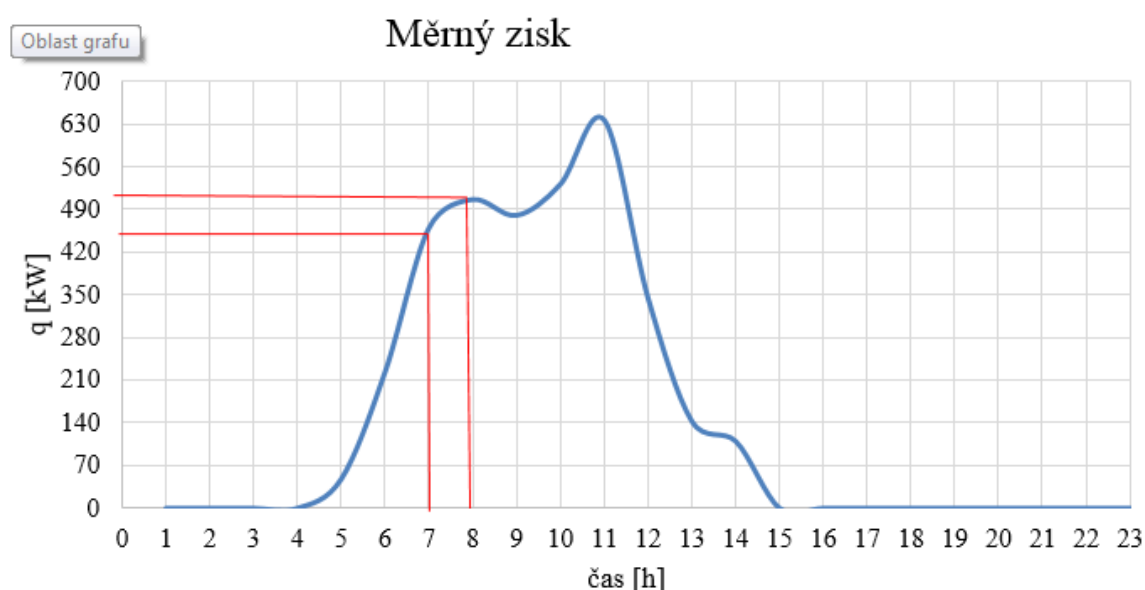
$$q = I \cdot \eta_{real} = [W / m^2] \quad (6)$$

kde:

I - je dopadající sluneční záření [W/m^2]

η_{real} - U výpočtech hodinu po hodině se nám může, vyskytnou účinnost menší jak 0, proto musíme omezit tuto účinnost. [-]

Abych mohl hodnoty sečíst, musím použít lichoběžníkovou metodu. Ukázka lichoběžníkové metody je na (obr. 6.2).



Obrázek 6.2. Lichoběžníková metoda.

Jak je ukázáno na příkladu, rozdělím si graf po hodinách na jednotlivé úseky, a odečtu na ose měrného zisku q množství kW. Takhle to udělám v programu Excel pro každou hodinu v jednotlivých měsících a vypočtu pomocí vzorce (7) jednotlivý příjem v kWh. Tabulka 5 nám udává sumárního hodnoty, v jednotlivých měsících přepočtené na kWh

$$Q = \frac{(q_i + q_{i+1})}{2} \cdot (\tau_{i+1} - \tau_i) \quad (7)$$

kde:

q – jednotlivé odečtené hodnoty na ose měrného zisku [kW]

τ - čas [h]

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q [kWh/m ²]	20,8	23,4	47,3	66,0	90,4	84,3

Tabulka 5. Měsíční příjem ze solárního kolektoru (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q [kWh/m ²]	90,7	90,6	52,8	40,4	15,6	9,3

Tabulka 5. Měsíční příjem ze solárního kolektoru (2/2).

6.2.5. Výpočet potřebné plochy slunečních kolektorů

Jelikož víme, kolik potřebujeme tepla v jednotlivých měsících, tabulka 3., a kolik dostaneme tepla v jednotlivých měsících tabulka 5., můžeme vypočítat potřebnou plochu solárního kolektoru.

Příklad uvedený pro měsíc leden:

$$S = \frac{Q_m}{Q} = \frac{536,4}{20,8} = 25,80 \text{ m}^2 \quad (8)$$

kde:

Q_m – měsíční potřeba tepla [kWh]

Q – měsíční příjem ze solárního kolektoru [kWh/m²]

Tabulky potřebných ploch pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
S [m ²]	25,80	17,26	11,36	7,68	5,58	5,55

Tabulka 6. Potřebné plochy solárního kolektoru (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
S [m ²]	5,17	5,10	8,56	11,90	30,97	56,19

Tabulka 6. Potřebné plochy solárního kolektoru (2/2).

Měsíc s rovnovážnou bilancí volím duben, budu dále vycházet, že potřebná plocha je 7,68 m².

6.2.6. Výpočet počtů kolektorů

Už znám potřebnou plochu, nyní musím vypočítat, kolik budu potřebovat kolektorů. Víme, že plocha apertury jednoho kolektoru je $S_{ap} = 2,31 \text{ m}^2$.

$$n = \frac{S}{S_{ap}} = \frac{7,68}{2,31} = 3,32 \text{ kolektorů} \quad (9)$$

Výsledné číslo zaokrouhlím nahoru tzn., že počet skutečných kolektorů $n_{sk} = 4$

kde:

S – Jednotlivé vypočtené plochy pro měsíce [m²]

S_{ap} – Plocha apertury [m²]

6.2.7. Výpočet skutečné plochy kolektoru

Skutečný počet kolektorů volím $n_{sk} = 4$, protože tento počet nám pokryje zcela potřebu v rovnovážném měsíci dubnu.

$$S' = n_{sk} \cdot S_{ap} = 4 \cdot 2,31 = 9,24 \text{ m}^2 \quad (10)$$

kde:

n_{sk} – skutečný počet kolektorů [-]

S_{ap} – Plocha apertury [m²]

6.2.8. Příjem z apertury

Potřebný počet kolektorů mám 4 a celkovou plochu tedy 9,24 m². Znam přínos tepla pro jednotlivé měsíce na m² tabulka 5. Jednoduchým součinem známe celkové plochy a příjmu dostaneme celkový příjem z apertur pro jednotlivé měsíce.

Příklad uvedený pro měsíc leden:

$$Q_{ap} = Q \cdot S' = 20,8 \cdot 9,24 = 192,1 kWh \quad (11)$$

Tabulky jednotlivých zisků z apertur

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_{ap} [kWh]	192,1	262,3	437,4	610,3	835,1	779,3

Tabulka 7. Příjem z apertur pro jednotlivé měsíce (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_{ap} [kWh]	837,8	836,9	487,7	373,5	144,6	85,7

Tabulka 7. Příjem z apertur pro jednotlivé měsíce (2/2).

Celkový příjem z apertur.

$$Q_{ca} = \sum_{i=1}^{12} Q_{ap} = 5882,6 kWh \quad (12)$$

kde:

Q_{ap} – příjem z apertury [kWh]

6.2.9. Určení přebytku a nedostatků

Nyní vím, jakou mám potřebu tepla v jednotlivých měsících tabulka 5. a kolik dostaneme z apertury tepla tabulka 7. Jednoduchou bilancí, kdy od tepla z apertur (Q_{ap}) odečteme potřebné teplo (Q_m) dostanu, buď přebytky v měsíci, nebo nedostatky.

Příklad uvedený pro měsíc leden.

$$P/N = Q_{ap} - Q_m = 192,1 - 536,4 = -344,3 kWh \quad (13)$$

Pro měsíc leden jsem vypočítal -344,3 kWh nedostatku tepla.

Tabulka přebytků a nedostatků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_m [kWh]	536,4	489,8	537,9	507,1	504,3	468,3
Q_{ap} [kWh]	192,1	262,3	437,4	610,3	835,1	779,3
Přeb. [kWh]	0	0	0	103,1	330,8	310,9
Nedo. [kWh]	344,3	227,6	100,5	0	0	0

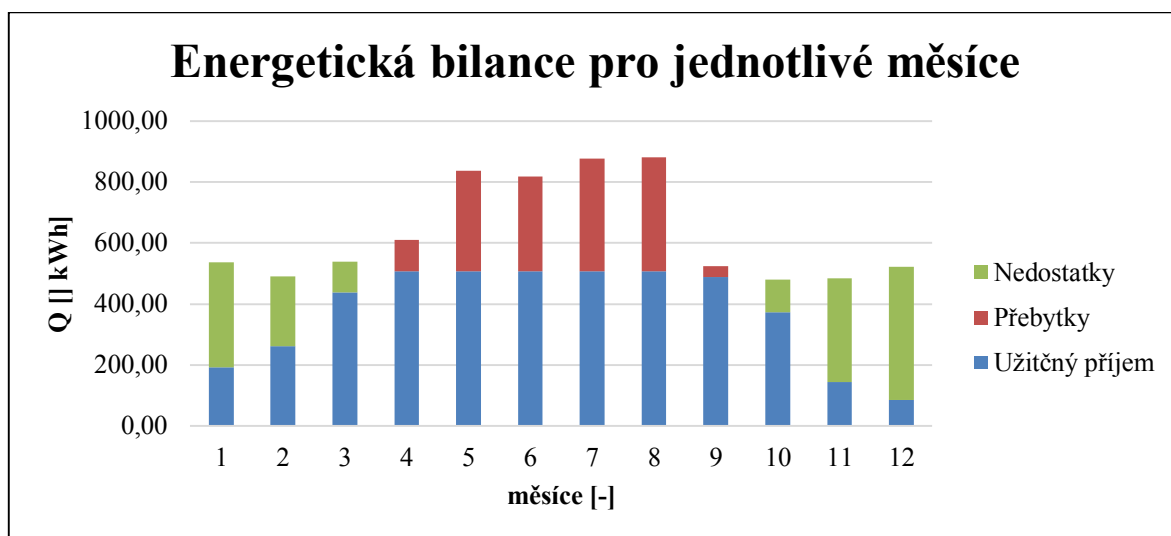
Tabulka 8. Přebytky a nedostatky tepla (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_m [kWh]	468,5	462,2	451,7	480,9	484,6	521,0
Q_{ap} [kWh]	837,8	836,9	487,7	373,5	144,6	85,7
Přeb. [kWh]	369,3	374,7	36,1	0	0	0
Nedo. [kWh]	0	0	0	107,5	340,0	435,3

Tabulka 8. Přebytky a nedostatky tepla (2/2).

V tabulce jsou všechny nedostatky v absolutní hodnotě.

Energetická bilance vyjádřena graficky



Obrázek 6.3. Graf energetické bilance.

6.2.10. Užitečný zisk ze solárních kolektorů

Je to takový zisk $Q_{už}$ [kWh], který dostanu v jednotlivých měsících ze solárních kolektorů, když bude v měsíci přebytek, tak užitečný zisk bude jenom ta část, která je potřebná. U nedostatku je to maximum co dostaneme z kolektorů.

Příklad:

V měsíci lednu dostaneme maximálně 192,1 kWh z apertury tabulka 7. a tj. užitečný zisk. Oproti tomu v měsíci červnu dostaneme 779,3 kWh tabulka 7., ale potřebujeme jenom 468,3 kWh tabulka 3. a to je tedy náš užitečný zisk.

Tabulky užitečných zisků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
$Q_{už}$ [kWh]	192,1	262,3	437,4	507,1	504,3	468,3

Tabulka 9. Užitečný zisk ze solárních kolektorů (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
$Q_{už}$ [kWh]	468,6	462,2	451,7	373,5	144,6	85,7

Tabulka 9. Užitečný zisk ze solárních kolektorů (2/2).

Celkový užitečný zisk

$$Q_{uz-c} = \sum_1^{12} Q_{uz} = 4357,8 kWh \quad (14)$$

kde:

 $Q_{u\check{z}}$ – užitečný zisk ze solárních kolektorů [kWh]

Z vypočteného celkového užitečného zisku, lze stanovit solární podíl, který vychází 73%. Vyjadřuje, kolik procent z roční spotřeby tepla pokryjí sluneční kolektory.

Měrný zisk

Je to takový zisk, který dostaneme za celý rok na 1m^2 plochy kolektoru.

$$q = \frac{Q_{u\check{z}-c}}{S'} = \frac{4357,8}{9,24} = 471,6 kWh \cdot m^{-2} \quad (15)$$

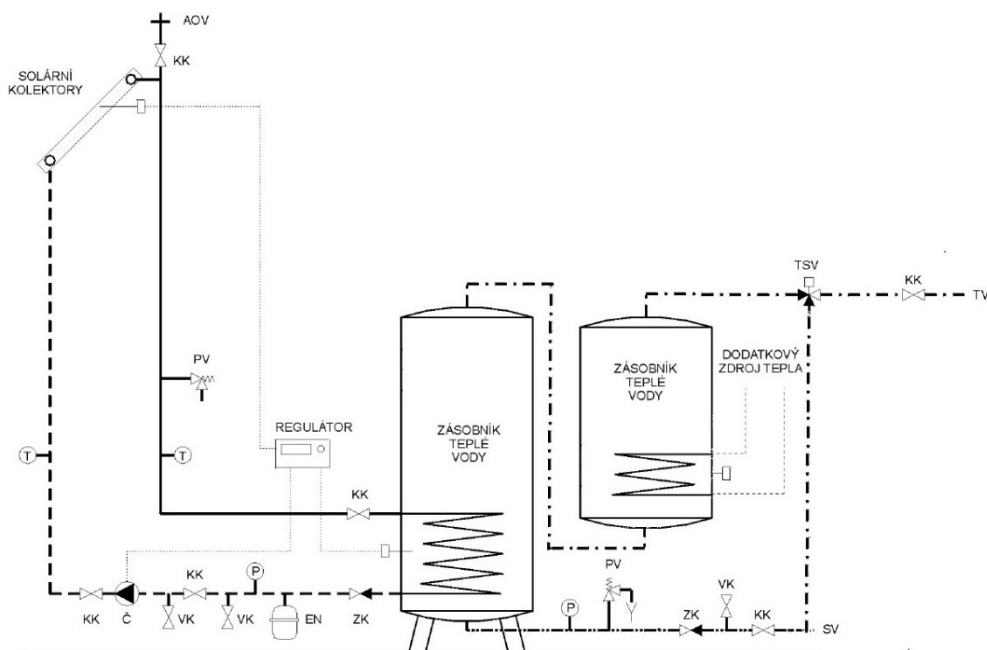
kde:

$$Q_{už-c} - \text{užitečný zisk ze solárního kolektoru po celý rok [kWh]}$$

S' - skutečná potřebná plocha [m²]

6.3. Prvky termosolární soustavy

V této kapitole budu navrhovat prvky solární soustavy od zásobníku, expanzní nádoby, až po jednotlivé ventily.



Obrázek 6.4. Schéma termosolární soustavy.

výměník tepla (VT), oběhové čerpadlo (Č), zpětná klapka (ZK), pojistný ventil (PV), expanzní nádoba (EN), odvzdušňovací ventil (AOV), regulátor (R), uzavírací armatury (KK), vypouštěcí a napouštěcí armatury (VK), termostatický směšovací ventil (TSV), regulační ventil (RV), teploměry (T), teplotní čidla, manometry (M), průtokoměry (P)

6.3.1. Volba teplotnosné kapaliny

Předtím než začnu navrhovat jednotlivé prvky, musím si zvolit, jakou teplotnosnou kapalinu budu používat. Musí pokrýt, jak teploty v zimní období, kdy teploty dosahují bodu mrazu, tak teploty v letním období, kdy teploty mohou přesáhnout pracovní teplotu v kolektorech.

Proto jsem se rozhodl zvolit teplotnosnou kapalinu SOLARTEN SUPER od firmy Regulus spol. s.r.o. Její technické parametry jsou uvedeny v příloze B.

6.3.2. Volba solárního zásobníku a potrubního systému

Poté, co známe denní spotřebu teplé vody, můžeme s její pomocí zvolit objem zásobníku. Ten má činit dle literatury: *Solární tepelné soustava – Tomáš Matuška [4]* 1,5 – 2 násobek denní spotřeby, při použití s dalším pohotovostním zásobníkem, aby pokrýl špičky a překlenul chudé dny na sluneční svit.

Pro můj případ je denní spotřeba teplé vody $V_{os} = 250 \text{ l/os.}$, z toho vyplývá objem zásobníku, který činí:

$$V_{zas} = (1,5 \div 2) \cdot V_{os} = (1,5 \div 2) \cdot 250 = 375 \div 500 \Rightarrow \text{volím tedy } V_{zas} = 500 \text{ l} \quad (16)$$

kde:

V_{os} – denní spotřeba teplé vody [l/os]

Volím tedy zásobník RBC 500 od firmy Regulus spol. s.r.o. jeho technické parametry jsou uvedeny v příloze C, stávající pohotovostní zásobník již byl v domě a je 200 l jeho parametry jsou uvedeny v příloze D.

Dále volím trubku z mědi TR Cu 22x1 mm.

6.3.3. Stanovení tlakových ztrát solárního okruhu

Pro stanovení tlakových ztrát v okruhu potřebuji znát množství protékající daným okruhem. V našem případě máme doporučené množství protékající solární soustavě od výrobce v rozmezí 60 až 120 l/h na jeden kolektor, který má plochu apertury 2,31 m².

Volím průtok $90 \text{ l/h} = 0,09 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,000025 \text{ m}^3 / \text{s}$

Pro 4 kolektory bude průtok $V_{kolektory} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 4 = 0,0001 \text{ m}^3 / \text{s}$

Rychlost proudění teplotnosného média v solárním okruhu vyplývá z rovnice kontinuity:

$$\dot{V} = w \cdot S \Rightarrow w = \frac{\dot{V}}{S} \quad (17)$$

Pro náš případ kdy vnitřní průměr potrubí je 20 mm platí:

$$w = \frac{\dot{V}}{S} = \frac{\dot{V}}{\frac{\pi \cdot d^2}{4}} = \frac{0,0001}{\frac{\pi \cdot 0,20^2}{4}} = 0,318 \text{ m/s}$$

kde:

$V_{kolektory}$ – průtok čtyřmi kolektory [m³/s]

d – průměr potrubí [m]

Reynoldsovo kritérium:

Příklad pro teplotu 50°C

$$Re = \frac{w \cdot d}{\nu} = \frac{0,318 \cdot 0,02}{1,9 \cdot 10^{-6}} = 3350,6 > 2300 \Rightarrow \text{turbulentní proudění.} \quad (18)$$

kde:

w – rychlost v soustavě [m/s]

d – průměr potrubí [m]

ν – kinematické viskozita pro 50°C [m²/s]

Tabulky Reynoldsových kritérií a rozdělení proudění

teplota [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40
Re [-]	106,1	244,9	424,4	795,8	1273,2	1818,9	2546,5
Proudění	laminár.	laminár.	laminár.	laminár.	laminár.	laminár.	laminár.

Tabulka 10. Reynoldsové kritérium a proudění (1/2).

teplota [°C]	50	60	70	80	90	100
Re [-]	3350,6	3744,8	4547,3	5305,2	6366,2	7957,8
Proudění	turbulen.	turbulen.	turbulen.	turbulen.	turbulen.	turbulen.

Tabulka 10. Reynoldsové kritérium a proudění (2/2).

kde:

laminár. – laminární proudění [-]

turbulen. – turbulentní proudění [-]

Pro oblast laminárního proudění ($Re < 2300$) se stanoví součinitel třecí ztráty λ ze vztahu:

$$\lambda = \frac{64}{Re} [-] \quad (19)$$

kde:

Re – Reynoldsovo kritérium [-]

Tabulka součinitele třecí ztráty pro laminární proudění

teplota [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40
λ [-]	0,603	0,261	0,151	0,080	0,050	0,035	0,025

Tabulka 11. Součinitel třecí ztráty pro laminární proudění.

V oblasti turbulentního proudění – za předpokladu hydraulicky hladkého potrubí (měděné, plastové potrubí) je možno použít Blasiova zjednodušeného vztahu:

$$\lambda = \frac{0,316}{Re^{0,25}} [-] \quad (20)$$

kde:

Re – Reynoldsovo kritérium [-]

Tabulka součinitele třecí ztráty pro turbulentní proudění

teplota [°C]	50	60	70	80	90	10
λ [-]	0,042	0,040	0,039	0,037	0,035	0,034

Tabulka 12. Součinitel třecí ztráty pro turbulentní proudění.

Tlaková ztráta třením

V této kapitole vypočtu ztrátu třením, pro různé teploty dle vzorce:

$$\Delta P_z = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]} \quad (21)$$

kde:

ΔP_z = celková ztráta třením [Pa]

l = délka potrubí [m]

d = průměr potrubí [m]

w = rychlost média v potrubí [m/s]

λ = Součinitel tření [-]

ρ = hustota média v potrubí [kg/m³]

Délka rozvodného potrubí od kolektorů po solární zásobník $l = 22,32$ m, průměr $d = 0,02$ m a rychlost teplotnosného média v potrubí $w = 0,28$ m/s. Součinitele tření jsou uvedeny v tabulce 11. a v tabulce 12. Hustoty jsou uvedeny v tabulkách 13.

Tabulky tlakových ztrát třením

teplota [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40
hustota [kg/m ³]	1053	1049	1045	1040	1034	1028	1022
ΔP_z [Pa]	35909.9	15501.8	8909.3	4728.9	2938.5	2045.0	1452.2

Tabulka 13. Tlaková ztráta třením (1/2).

teplota [°C]	50	60	70	80	90	100
hustota [kg/m ³]	1015	1008	1001	994	985	978
ΔP_z [Pa]	2383.4	2302.1	2177.8	2080.8	1970.1	1850.0

Tabulka 13. Tlaková ztráta třením (2/2).

Jak je vidět, z tabulek 13., pro každou teplotu je rozdílná tlaková ztráta, proto tyto hodnoty zprůměruj. Nebudu ale průměrovat všechny hodnoty za předpokladu, že při teplotách pod bod mrazu nám nebude dávat žádný zisk solární soustava. Proto zprůměruji hodnoty od teploty 0°C po teplotu 100°C.

$$\Delta P_{z \text{ prum}} = \frac{\sum_{0}^{100} \Delta P_z}{n} = \frac{32838,1}{11} = 2985,3 \text{ Pa} \quad (22)$$

kde:

$$\sum \Delta P_z - \text{suma } \Delta P_z \text{ v tabulkách 13. [Pa]}$$

n – počet sečení [-]

Tlaková ztráta místními odpory

Tlaková ztráta místními odpory jsou myšleny, ztráty v různých armaturách potřebných k propojení rovného potrubí, nebo k propojení mezi kolektory. Pro můj případ budou potřebné armatury, jaké jsou kolena, zpětná klapka, T-kus atd...

Z literatury [13] jsem stanovil součinitele místního odporu:

$$\begin{aligned} \xi_k &= 1,5 && \text{součinitel tvaru kolena } 90^\circ\text{C} \\ \xi_T &= 0,5 && \text{součinitel tvar T-kus} \\ \xi_{ZK} &= 7,5 && \text{součinitel zpětné klapky} \\ \xi_V &= 2 && \text{součinitel vlnovce mezi kolektory} \\ \xi_{UA} &= 0,5 && \text{součinitel uzavírací armatury} \end{aligned}$$

Pro celkovou ztrátu místními odpory, lze psát použít vzorec:

$$\Delta P_F = \left(\sum \xi_i \cdot n \right) \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho \text{ [Pa]} \quad (23)$$

kde:

Δp_F = celková místní ztráta [Pa]

w = rychlost média v potrubí [m/s]

ρ = hustota média v potrubí [kg/m³]

ξ_i = místní odpory [-]

n = počet příslušných místní odporů [-]

Tabulky tlakových ztrát místními odpory

teplota [°C]	-20	-10	0	10	20	30	40
ΔP_F [Pa]	1893.8	1886.6	1879.4	1870.4	1859.6	1848.8	1838.0

Tabulka 14. Tlaková ztráta místními odpory (1/2).

teplota [°C]	50	60	70	80	90	100
ΔP_F [Pa]	1825.4	1812.8	1800.2	1787.7	1771.5	1758.9

Tabulka 14. Tlaková ztráta místními odpory (2/2).

Jak tomu bylo u tlakových ztrát třením, tak i u tlakových místními odpory budu průměrovat od teploty 0°C do teploty 100°C.

$$\Delta P_{F-přir} = \frac{\sum \Delta P_F}{n} = \frac{20052,7}{11} = 1823,0 \text{ Pa} \quad (24)$$

kde:

$$\sum \Delta P_F - \text{suma } \Delta P_F \text{ v tabulkách 14. [Pa]}$$

n – počet sečení [-]

Tlaková ztráta v kolektoru

Tlakovou ztrátu v kolektoru jsem odečetl z grafu, který je v technickém listu kolektoru. Odečítám pro můj průtok 90 l/h, naznačeno červenými úsečkami v grafu.



Obrázek 6.5. Graf tlakové ztráty kolektoru.

Jelikož je na osy y – tlaková ztráta v metrech, musím tuto ztrátu přepočíst na tlak v pascálech.

Tlaková ztráta pro jeden kolektor:

$$\Delta P_{kol_1} = g \cdot h \cdot \rho = 9,81 \cdot 0,008 \cdot 1000 = 79,5 Pa \quad (25)$$

Tlaková ztráta pro čtyři kolektory:

$$\Delta P_{kol_c} = \Delta P_{kol_1} \cdot 4 = 79,5 \cdot 4 = 318 Pa \quad (26)$$

kde:

g – gravitační zrychlení [m/s²]

ρ - hustota teplotnosného media [kg/m³]

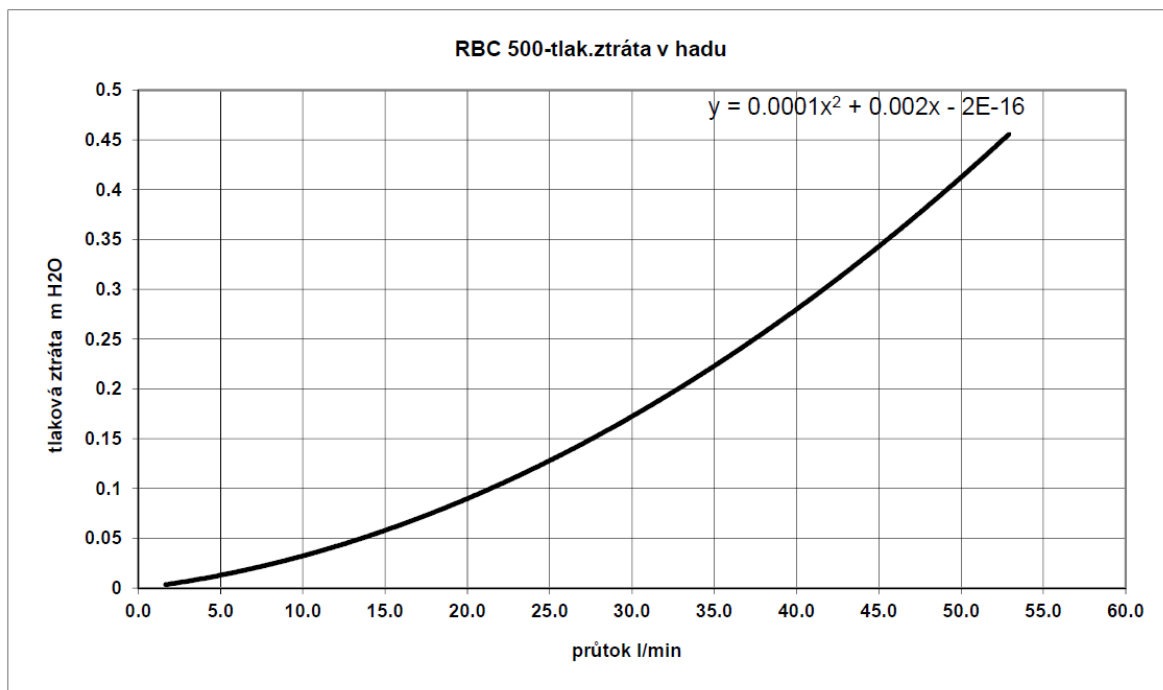
h – odečtená tlaková ztráta [m]

Tlaková ztráta hadového výměníku v zásobníku

Tlakovou ztrátu hadového výměníku mi na požádání zaslali z firmy Regulus spol. s.r.o. Pro lepší odečet použiji regresní vzorce $y = 0,0001x^2 + 0,002x - 2E-16$.

V grafu je na ose x průtok v l/min, proto musím přepočíst moji hodnotu 90 l/h na l/min.

Přepočet:



Obrázek 6.6. Graf tlaková ztráta hadového výměníku.

$$m_{l/min} = \frac{m_{l/h}}{60} = \frac{90}{60} = 1,5 l/min \quad (27)$$

Tlaková ztráta hadového výměníku:

$$y = 0,0001 \cdot x^2 + 0,002 \cdot x - 2E-16 = 0,0001 \cdot 1,5^2 + 0,002 \cdot 1,5 = 0,0032m \quad (28)$$

$$\Delta P_{vy\dot{m}} = g \cdot h \cdot \rho = 9,81 \cdot 0,0032 \cdot 1013 = 31,8Pa$$

kde:

g – gravitační zrychlení [m/s^2]

ρ – hustota teplotnosného media [kg/m^3]

h – vypočtená tlaková ztráta [m]

Celková tlaková ztráta termosolární soustavy

Celkovou ztrátu termosolární soustavy vypočítám sečtením dílčích ztrát, které jsem si již v předchozích kapitolách vypočetl.

$$\Delta P_c = \Delta P_{z_{prum}} + \Delta P_{F_{prum}} + \Delta P_{vy\dot{m}} + \Delta P_{kol_c} = 2985,3 + 1823,0 + 31,8 + 318 = 5158,1Pa \quad (29)$$

6.3.4. Stanovení oběhového čerpadla

Hybným prvkem solární soustavy je oběhové čerpadlo zajišťující dopravu teplotnosné látky mezi kolektorem a zásobníkem tepla. Při volbě čerpadla se rozhodují podle průtoku, ten znám a také podle dopravované výšky tu neznám, ale lze ji vypočítat ze vztahu (30).

$$H_d = \frac{\Delta P_c}{\rho \cdot g} = \frac{5158,1}{1013 \cdot 9,81} = 0,519m \quad (30)$$

kde:

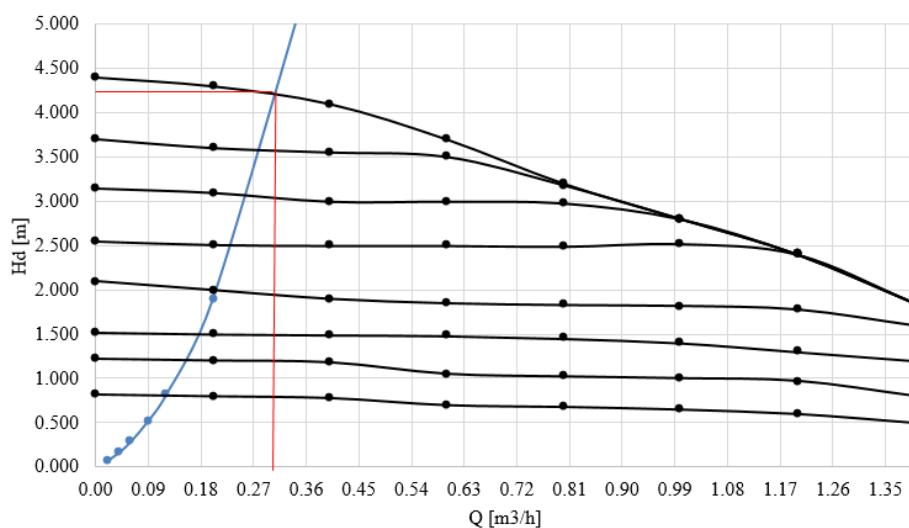
ΔP_c - celková ztráta soustavy [Pa]

ρ - průměrná hustota teplotnosného media [kg/m³]

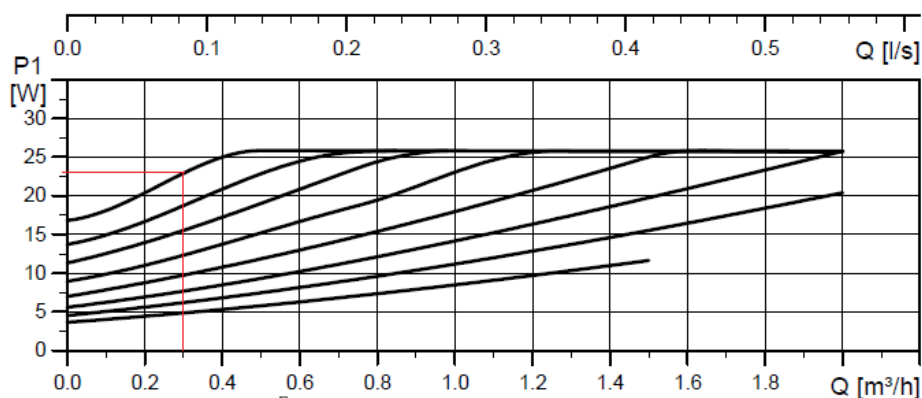
g - gravitační zrychlení [m/s²]

H_d - vypočtená dopravní výška [m]

Volím oběhové čerpadlo SOLAR PM 15-45 od firmy Grundfos. Z (obr. 6.7) je zřejmé, že když budu chtít ohřívat vodu v solárním zásobníku a čerpadlo pojede na plný výkon, tak jeho dopravní výška bude okolo 4,25 m a z (obr. 6. 8) příkon 23W. Při snižování otáček z důvodu již skoro nabitého solárního zásobníku teplou vodou bude klesat, jak dopravní výška čerpadla, tak i potřebný příkon čerpadla. Technický list čerpadla je uveden v příloze E



Obrázek 6.7. Graf Dopravní výšky oběhového čerpadla.



Obrázek 6.8. Graf příkonu oběhového čerpadla.

6.3.5. Stanovení plnicího tlaku a maximálního provozního tlaku

Plnicí tlak p_o , je dán hydrostatickým tlakem sloupce teplotnosné látky nad místem připojení expanzní nádoby a minimálním tlakem p_d požadovaným v nejvyšším místě soustavy.

$$p_o = h_s \cdot g \cdot \rho_{media} + p_d = 7,9 \cdot 9,81 \cdot 1013 + 50000 = 128506 Pa \quad (31)$$

kde:

h_s - výška sloupce teplotnosného média [m]

g - gravitační zrychlení [m/s^2]

ρ_{media} - hustota teplotnosného média [kg/m^3]

p_d - požadovaný tlak volí se od 20 - 150 [KPa]

Maximální provozní tlak p_e [kPa] se odvozuje od maximálního dovoleného tlaku v soustavě (otevírací tlak pojistného ventilu). Pro pojistný tlak $p_{pv} > 300$ kPa se vypočte p_e ze vztahu (32). Jelikož se pojistné ventily do solárních soustav dělají na 6 bar a pojistný tlak by měl být asi o 50 kPa menší, volím tlak $p_{pv} = 550$ kPa

$$p_e = 0,9 \cdot p_{pv} = 0,9 \cdot 550 = 495 kPa \quad (32)$$

kde:

p_{pv} = pojistný tlak v soustavě [kPa]

6.3.6. Stanovení expanzní nádoby

Solární soustava podobně jako každá otopná soustava musí být vybavena expanzním zařízením, které umožňuje změny objemu teplotnosné kapaliny vlivem tepelné objemové roztažnosti.

Minimální objem expanzní nádoby se stanoví dle vzorce (33).

$$V_{EN,MIN} = V_s + V \cdot \beta + V_k = [l] \quad (33)$$

kde:

V_s - V_s (1 až 10 %) celkového objemu soustavy V , min 2l. [l]

V - Celkový objem teplotnosného média v soustavě. [l]

β - Teplotní součinitel roztažnosti. [-]

V_k - Objem kolektorů. [l]

Celkový objem teplotnosného média.

$$V = V_{potr.} + V_{výměňmě} + V_{kolektory} = [l] \quad (34)$$

kde:

$V_{potr.}$ - Objem teplotnosného média v potrubí. [l]

$V_{výměňmě}$ - Objem teplotnosného média ve výměňníku. [l]

$V_{kolektory}$ - Objem teplotnosného média v kolektorech. [l]

Objem teplotnosného media v potrubí.

$$V_{potrubí} = S_{potrubí} \cdot l_{potrubí} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot l_{potrubí} = \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 22,32 = 0,00701 m^3 = 7,01 dm^3 = 7,01 l \quad (35)$$

Objem teplotnosného media v hadovém výměníku.

Nejprve si musím vypočíst celkovou délku trubek, tvořící hadový výměník.

$$l_{výměník} = \frac{S_{výměník}}{d_{výměník} \cdot \pi} = \frac{2,5}{0,022 \cdot \pi} = 36,2 m \quad (36)$$

$$V_{výměník} = S_{výměník} \cdot l_{výměník} = \frac{\pi \cdot 0,02^2}{4} \cdot 36,2 = 0,0113 m^3 = 11,3 dm^3 = 11,3 l \quad (37)$$

kde:

$S_{potrubí}$ - Plocha podstavy potrubí. [m²]

$l_{potrubí}$ - Délka potrubí. [m]

$d_{potrubí}$ - Průměr potrubí. [m]

$S_{výměník}$ - Plocha hadového výměníku. [m²]

$l_{výměník}$ - Délka hadového výměníku. [m]

$d_{výměník}$ - Vnější průměr potrubí výměníku. [m]

Nyní znám všechny potřebné objemy a můžu použít vzorec (34), objem kolektoru je v technických parametrech v příloze A.

$$V = V_{potr.} + V_{výměník} + V_{kolektory} = 7,01 + 11,3 + 4 \cdot 1,64 = 24,87 l \quad (38)$$

Zajištění minimálního objemu ve studeném stavu.

$$V_s = (1 \div 10\%) \cdot V = 0,1 \cdot 24,87 = 2,487 l \quad (39)$$

kde:

V - Celkový objem teplotnosného media [l]

Pro stanovení minimálního objemu expanzní nádoby, mi stačí už jen stanovit teplotní součinitel roztažnosti.

Teplotní součinitel roztažnosti.

$$\beta = \frac{\rho_{(t0)}}{\rho_{(t \max)}} - 1 = \frac{\rho_{(10^\circ C)}}{\rho_{(100^\circ C)}} - 1 = \frac{1040}{978} - 1 = 0,06339 \quad (40)$$

kde:

$\rho_{(10^\circ C)}$ - hustota teplotnosné látky při 10°C [kg/m³]

$\rho_{(100^\circ C)}$ - hustota teplotnosné látky při 100°C [kg/m³]

Minimální velikost expanzní nádoby.

$$V_{EN,MIN} = V_s + V \cdot \beta + V_k = 2,487 + 24,87 \cdot 0,06339 + 4 \cdot 1,64 = 10,62l \quad (41)$$

Skutečná velikost expanzní nádoby se získá podělením minimálního objemu tzv. stupně využití expanzní nádoby.

Stupeň využití expanzní nádoby.

$$\eta = \frac{p_e - p_0}{p_e + p_b} = [-] \quad (42)$$

kde:

p_e – maximální provozní tlak [kPa]

p_b – atmosférický tlak 100 [kPa]

p_0 – provozní tlak [kPa]

Skutečný objem expanzní nádoby.

$$V_{EN} = V_{EN,MIN} \cdot \left(\frac{p_e + p_b}{p_e - p_0} \right) = 10,62 \cdot \left(\frac{495 + 100}{495 - 128,5} \right) = 17,24l \quad (43)$$

kde:

$V_{EN,MIN}$ – minimální objem expanzní nádoby [l]

Skutečná velikost expanzní nádoby mi vyšel 17,24, proto volím expanzní nádobu SL018 od firmy Regulus spol. s.r.o., která má objem 18l. Její technický list je uveden v příloze F.

6.3.7. Stanovení dílčích prvků

Volba dílčích prvků, které zajistí bezproblémový chod solární soustavy.

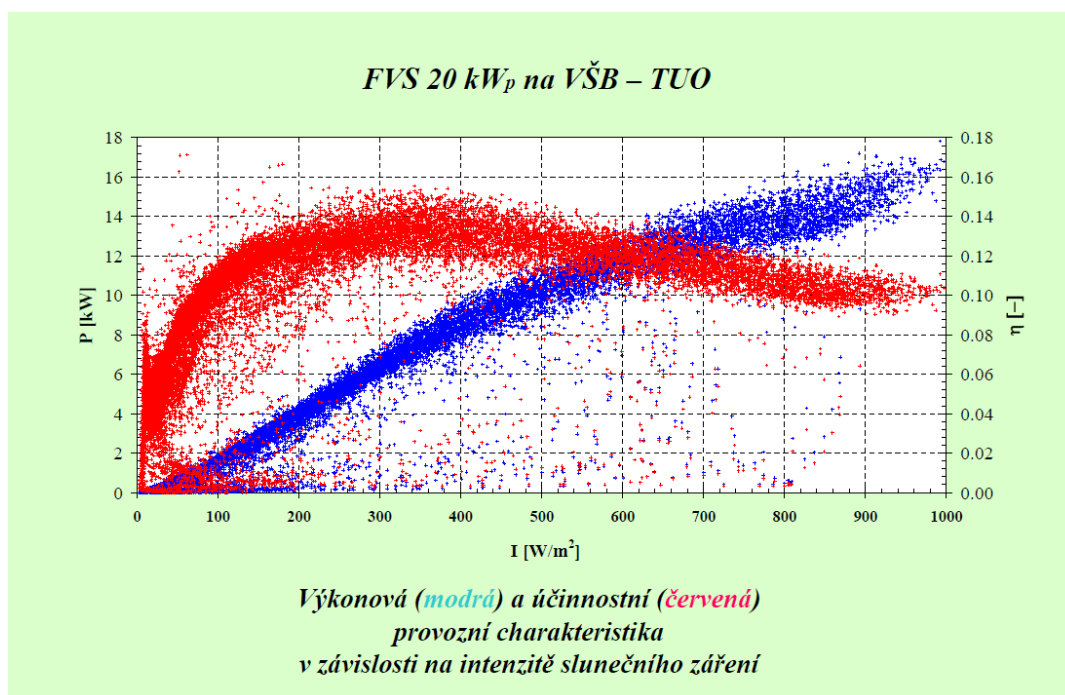
Pojistný ventil.	max. tlak 6bar a teplota 140°C
Napouštěcí a vypouštěcí armatura.	Kulový kohout.
Odvzdušňovací ventil.	Sada separátoru vzduchu a kulový kohout.
Zpětný ventil.	Zpětný ventil
Uzavírací armatura.	Kulový kohout.
Regulátor.	Solární regulátor STDC
Všechny zařízení vybírám od firmy Regulus spol. s.r.p	

Tabulka 15. První solární soustavy.

7. Návrh fotovoltaické soustavy

Návrh fotovoltaické soustavy spočívá ve stanovení kapacitních a bilančních solárních zisků a návrhu jednotlivých komponent fotovoltaické soustavy.

Abych mohl vypočíst jednotlivé zisky z fotovoltaických panelů, dostal jsem od pana doc. Ing. M. Vrtka, Ph.D. graf dvou funkcí (obr 7.1). Z výkonnostní funkce jsem udělal regresní rovnici, která mi poskytne údaje o výkonu 162 m² monokrystalického fotovoltaických panelů pro jednotlivé záření. Když do mé regresní rovnice dosadím jednotlivé údaje záření hodinu po hodině a podělím je 162 m², dostanu jednotlivé výkony hodinu po hodině z FV panelů. Dále tyto výkony sečtu pomocí lichoběžníkové metody, a dostanu jednotlivé výkony pro dané měsíce tabulka 16.



Obrázek 7.1. Výkonová a účinností křivka.

Tabulky jednotlivých výkonu pro dané měsíce v roce.

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q _{FV} [kWh/m ²]	5,85	7,73	11,28	14,07	17,51	16,21

Tabulka 16. Jednotlivé výkony v měsících (1/2)

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q _{FV} [kWh/m ²]	17,13	16,76	11,73	9,63	4,68	3,27

Tabulka 16.. Jednotlivé výkony v měsících (2/2).

7.1. Výpočet potřebné plochy FV panelů

Nyní si potřebují vypočíst, jakou plochu FV panelů budu potřebovat na pokrytí potřeby tepla, které nám udává tabulka 3. Budu postupovat naopak než-li tomu bylo u termosolární soustavy. Vycházím z užitečného zisku, který jsme si stanovili ze vzorce 14, kvůli ekonomickému porovnání. Prvně musím zvolit odhadem potřebnou plochu v m², k ní stanovit potřebný zisk z téže plochy, vypočíst přebytky a nedostatky a nakonec užitečný zisk, který porovná s užitečným ziskem ze vzorce 14 a podle odchylky budu prvně zvolenou plochu zvětšovat nebo zmenšovat.

V programu Excel to udělám pomocí funkce Citlivostní analýza -> Hledej řešení, kde nastavená buňka je potřebný zisk ze FV panelů, cílová hodnota je $Q_{už} = 4357,8 \text{ kWh}$ a měněná buňka je potřebná plocha FV panelů. Pro můj $Q_{už}$ vychází potřebná plocha $S_{FV} = 35,98 \text{ m}^2$.

7.2. Výpočet zisku z plochy FV panelů

Známe-li zisk ze FV panelů pro jednotlivé měsíce na 1 m^2 a potřebnou plochu po pokrytí užitečného zisku můžeme stanovit, příjem z téže plochy pro jednotlivé měsíce.

Příklad pro měsíc leden:

$$Q_{FV_a} = Q_{FV} \cdot S_{FV} = 5,85 \cdot 35,98 = 209,42 \text{ kWh} \quad (44)$$

kde:

Q_{FV} – Výkon FV panelů na 1 m^2 [kWh/m^2]

S_{FV} – Vypočtená potřebná plocha pro pokrytí užitečného zisku [m^2]

Tabulky jednotlivých příjmu z FV plochy pro dané měsíce v roce.

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_{FV} [kWh]	209,42	278,10	406,04	506,29	629,94	583,16

Tabulka 17. Jednotlivé příjmy měsíců (1/2)

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_{FV} [kWh]	616,52	603,16	422,25	346,40	168,22	117,64

Tabulka 17. Jednotlivé příjmy v měsících (2/2).

7.3. Určení přebytku a nedostatku

Nyní vím, jakou mám potřebu tepla v jednotlivých měsících tabulka 3. také jaký je zisk z FV jednotlivých příjmu z plochy tabulka 17. Jednoduchou bilancí, kdy od příjmu z plochy (Q_{FV}) odečteme potřebné teplo (Q_m) dostanu, buď přebytky v měsíci, nebo nedostatky.

Příklad uvedený pro měsíc leden.

$$P / N = Q_{FV} - Q_m = 209,42 - 536,4 = -327,01 \text{ kWh} \quad (45)$$

Pro měsíc leden jsem vypočítal -327,1 kWh nedostatku tepla.

Tabulka přebytků a nedostatků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_m [kWh]	536,4	489,8	537,9	507,1	504,3	468,3
Q_{FV} [kWh]	209,42	278,10	406,04	506,29	629,94	583,16
Přeb. [kWh]	0	0	0	0	125,62	114,80
Nedo. [kWh]	327,01	211,73	131,90	0,89	0	0

Tabulka 18. Přebytky a nedostatky tepla (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_m [kWh]	468,5	462,2	451,7	480,9	484,6	521,0
Q_{FV} [kWh]	616,52	603,16	422,25	346,40	168,22	117,64
Přeb. [kWh]	147,94	140,96	0	0	0	0
Nedo. [kWh]	0	0	29,45	134,50	316,39	403,37

Tabulka 18. Přebytky a nedostatky tepla (2/2).

V tabulce jsou všechny nedostatky v absolutní hodnotě.

7.4. Užitečný zisk z fotovoltaických panelů

Je to takový zisk $Q_{už_FV}$ [kWh], který dostanu v jednotlivých měsících ze FV panelů. Když bude v měsíci přebytek, tak užitečný zisk bude jenom ta část, která je potřebná. U nedostatku je to maximum co dostaneme z kolektorů.

Příklad:

V měsíci lednu dostaneme maximálně 209,42 kWh z apertury tabulka 17. a tj. užitečný zisk. Oproti tomu v měsíci červnu dostaneme 583,13 kWh tabulka 17., ale potřebujeme jenom 468,3 kWh tabulka 3. a to je tedy náš užitečný zisk.

Tabulky užitečných zisků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
$Q_{už_FV}$ [kWh]	209,4	278,1	406,0	506,3	504,3	468,4

Tabulka 19. Užitečný zisk ze FV panelů (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
$Q_{už_FV}$ [kWh]	468,6	462,2	422,3	346,4	168,2	117,6

Tabulka 19. Užitečný zisk ze FV panelů (2/2).

Celkový užitečný zisk

$$Q_{už-c_FV} = \sum_{i=1}^{12} Q_{už_FV} = 4357,8 \text{ kWh} \quad (46)$$

kde:

$Q_{už_FV}$ – užitečný zisk ze FV panelů [kWh]

Lze si všimnout, že užitečný zisk opravdu vyšel stejně jak u termosolární soustavy tak i u FV panelů

Měrný zisk

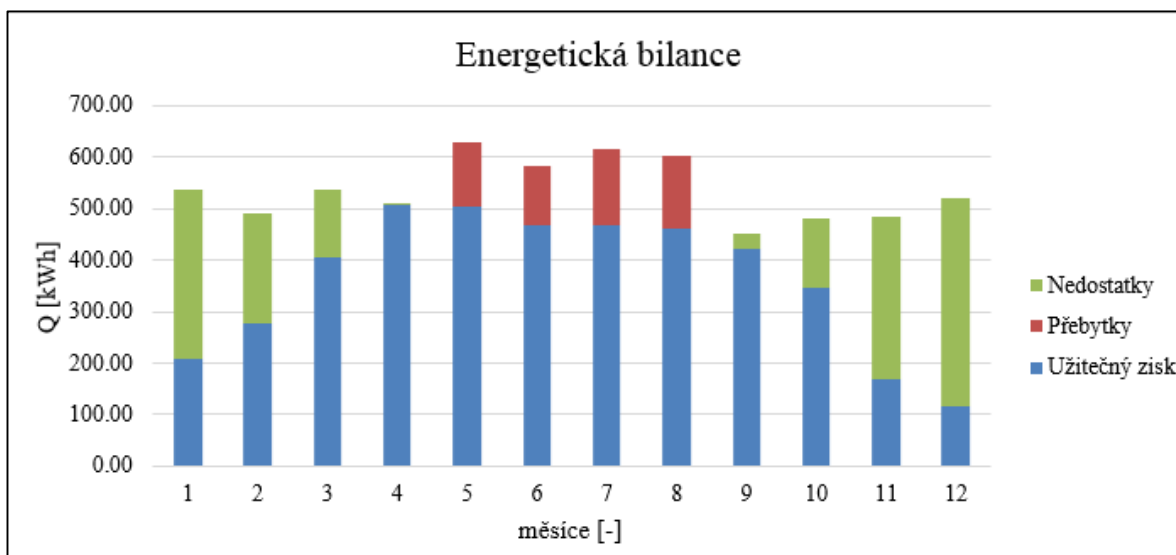
Je to takový zisk, který dostaneme za celý rok na 1 m^2 plochy FV panelů.

$$q = \frac{Q_{už-c}}{S'} = \frac{4357,8}{35,98} = 121,1 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \quad (47)$$

kde:

$Q_{už-c_FV}$ – užitečný zisk ze FV panelů.

Graf energetické bilance FV panelů



Obrázek 7.2. Graf energetické bilance.

Nyní mám vypočtený užitečný zisk z FV panelu pro plochu 35,98m². Pro reálný případ si, ale musím vypočíst z této plochy počet FV panelů, a pak přepočíst na tyto panely plochu. Pro můj případu volím monokrystalický FV panel BENQ jehož technické parametry jsou v příloze G.

7.5. Výpočet počtu FV panelů

Už znám potřebnou plochu, nyní musím vypočítat, kolik budu potřebovat FV panelů. Víím, že plocha apertury jednoho FV panelů je $S_{ap} = 1,46 \text{ m}^2$.

$$n_{FV} = \frac{S_{FV}}{S_{ap_FV}} = \frac{35,98}{1,46} = 24,64 \text{ FV panelů} \quad (48)$$

Výsledné číslo zaokrouhlím nahoru tzn., že počet skutečných FV panelů $n_{sk} = 25$

kde:

S_{FV} – Plocha vypočtená pro užitečný zisk. [m²]

S_{ap_FV} – Plocha apertury FV panelu [m²]

7.6. Výpočet skutečné plochy FV panelů

Skutečný počet FV panelů $n_{sk_FV} = 25$, tento počet nám užitečný zisk, vypočteny ve vzorci 14.

$$S_{FV'p} = n_{sk_FV} \cdot S_{ap_FV} = 25 \cdot 1,46 = 36,5 \text{ m}^2 \quad (49)$$

kde:

n_{sk_FV} – skutečný počet FV panelů [-]

S_{ap_FV} – plocha apertury FV panelu [m²]

7.7. Výpočet zisku z přepočítané plochy FV panelů

Známe-li zisk ze FV panelů pro jednotlivé měsíce na 1m^2 a potřebnou plochu po pokrytí užitečného zisku můžeme stanovit, příjem z této plochy pro jednotlivé měsíce.

Příklad pro měsíc leden:

$$Q_{FV_p} = Q_{FV} \cdot S_{FV_p} = 5,85 \cdot 36,5 = 212,5\text{kWh} \quad (50)$$

kde:

Q_{FV} – Výkon FV panelů na 1m^2 [kWh/ m^2]

S_{FV_p} – Vypočtená potřebná plocha pro pokrytí užitečného zisku [m^2]

Tabulky jednotlivých příjmu z FV plochy pro dané měsíce v roce.

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_{FV_p} [kWh]	212,5	282,1	411,9	513,6	639,1	591,6

Obrázek 20. Jednotlivé příjmy měsíců (1/2)

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_{FV_p} [kWh]	625,5	611,9	428,4	351,4	170,7	119,6

Obrázek 20. Jednotlivé příjmy v měsících (2/2).

7.8. Celkový příjem za rok z FV soustavy

Je to součet všech měsíčních příjmu z FV soustavy v roce.

$$Q_{C_FV} = \sum_{i=1}^{12} Q_{FV_p} = 4958\text{kWh} \quad (51)$$

7.9. Určení přebytku a nedostatků

Nyní vím, jakou mám potřebu tepla v jednotlivých měsících tabulka 3. také jaký je zisk z FV jednotlivých příjmu z plochy tabulka 20. Jednoduchou bilancí, kdy od příjmu z plochy (Q_{FV}) odečteme potřebné teplo (Q_m) dostanu, buď přebytky v měsíci, nebo nedostatky.

Příklad uvedený pro měsíc leden.

$$P/N = Q_{FV} - Q_m = 212,5 - 536,4 = -323,9\text{kWh} \quad (52)$$

Pro měsíc leden jsem vypočítal -327,1 kWh nedostatku tepla.

Tabulka přebytků a nedostatků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
Q_m [kWh]	536,4	489,8	537,9	507,1	504,3	468,3
Q_{FV_p} [kWh]	212,5	282,1	411,9	513,6	639,1	591,6
Přeb. [kWh]	0	0	0	6,5	134,8	123,3
Nedo. [kWh]	323,9	207,7	126,0	0,89	0	0

Tabulka 21. Přebytky a nedostatky tepla (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
Q_m [kWh]	468,5	462,2	451,7	480,9	484,6	521,0
Q_{FV_p} [kWh]	625,5	611,9	428,4	351,4	170,7	119,6
Přeb. [kWh]	156,9	149,7	0	0	0	0
Nedo. [kWh]	0	0	23,3	129,5	313,9	401,7

Tabulka 21. Přebytky a nedostatky tepla (2/2).

V tabulce jsou všechny nedostatky v absolutní hodnotě.

7.10. Užitečný zisk z fotovoltaických panelů

Je to takový zisk $Q_{už_FV_p}$ [kWh], který dostanu v jednotlivých měsících ze FV panelů. Když bude v měsíci přebytek, tak užitečný zisk bude jenom ta část, která je potřebná. U nedostatku je to maximum co dostaneme z FV panelů.

Příklad:

V měsíci lednu dostaneme maximálně 212,5 kWh z apertury tabulka 20. a tj. užitečný zisk. Oproti tomu v měsíci červnu dostaneme 591,6 kWh tabulka 20., ale potřebujeme jenom 468,3 kWh tabulka 3. a to je tedy náš užitečný zisk.

Tabulky užitečných zisků pro jednotlivé měsíce

měsíc	1	2	3	4	5	6
$Q_{už_FV_p}$ [kWh]	212,7	282,1	411,9	507,2	504,3	468,4

Tabulka 22. Užitečný zisk ze FV panelů (1/2).

měsíc	7	8	9	10	11	12
$Q_{už_FV_p}$ [kWh]	468,6	462,2	428,8	351,4	170,7	119,6

Tabulka 22. Užitečný zisk ze FV panelů (2/2).

Celkový užitečný zisk

$$Q_{už-c_FV_p} = \sum_{i=1}^{12} Q_{už_FV_p} = 4386,9 \text{ kWh} \quad (53)$$

kde:

$Q_{už_FV_p}$ – užitečný zisk ze FV panelů [kWh]

Lze si všimnout, že užitečný vychází větší, tj z důvodu zvětšení plochy FV panelů.

Z vypočteného celkového užitečného zisku, lze stanovit solární podíl, který vychází 74%. Vyjadřuje, kolik procent z roční spotřeby tepla pokryjí fotovoltaické panely.

Měrný zisk

Je to takový zisk, který dostaneme za celý rok na 1m^2 plochy FV panelu.

$$q_{-FV} = \frac{Q_{uz-c-FV-p}}{S_{FV-p}} = \frac{4386,9}{36,5} = 119,38 kWh \cdot m^{-2} \quad (54)$$

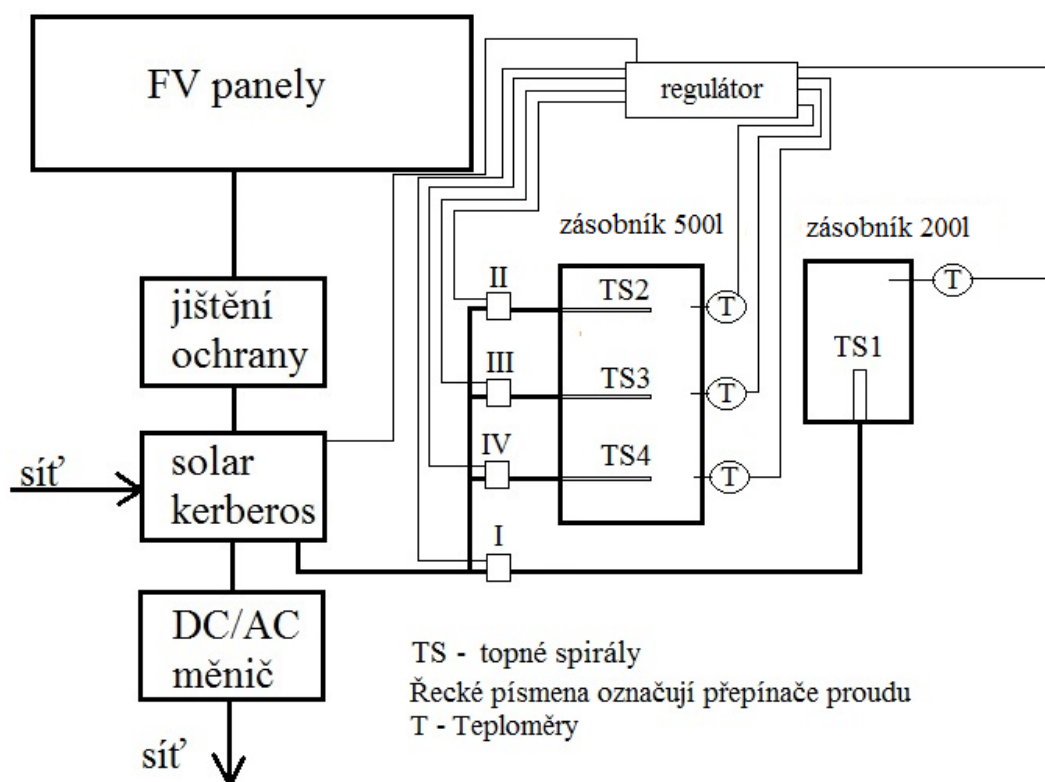
kde:

$$Q_{\text{už-c FV p}} - \text{užitečný zisk ze solárního kolektoru po celý rok [kWh]}$$
 $S_{FVp'}$ - skutečná potřebná plocha [m²]

7.11. Schéma fotovoltaické soustavy

Má fotovoltaická soustava bude obsahovat:

FV panely. Jištění a ochranu proti nežádoucím elektrickým vlivům. Solar kerberos díky, kterému zvýším výtěžnost solárních zisků. DC/AC měnič, který přemění stejnosměrný proud na střídavý, abych mohl přebytečnou elektrickou energii dodávat do veřejné sítě. Regulátor, který zajistí nabití prvně pohotovostního zásobníku na 200l a dále postupné nabíjení akumulární nádrže na 500l, která má zabudované 3 topné spirály na 1,2 kW a je řešen jako stratifikační zásobník. Stávající solární zásobník je stejný, jak u termosolární soustavy viz, příloha D. Informace o akumulární nádrži jsou uvedeny v příloze H



Obrázek 7.3. Schéma FV soustavy.

8. Ekonomické zhodnocení

V této kapitole porovnám mezi sebou návrh solární soustavy na přípravu teplé vody za pomoci ohřevu kolektory, nebo za pomoci fotovoltaické soustavy.

Ohřev pomocí kolektory	
Název položky	Cena s DPH
4 kolektory KPS11+ANT	48 352 Kč
Zásobník RBC 500	35 078 Kč
Čerpadlo SOLAR PM2 15-45	3 755 Kč
Expanzní nádoba SL018	1 258 Kč
Regulátor STDC	4 453 Kč
Teplonosné médium SOLARTEN	2 269 Kč
Součet všech armatur	7 030 Kč
Suma	102 195 Kč

Tabulka 23. Suma prvků u kolektorové soustavy.

Ohřev pomocí FV soustavy	
Název položky	Cena s DPH
25 FV panelů	142 150 Kč
Jištění a přepěťová ochrana	750 Kč
Solar Kerberos	22 094 Kč
Akumulační nádrž PS 500 E+	10 878 Kč
3 Topné spirály 1,2 kW	6 861 Kč
Měnič DC/AC	29 209 Kč
Suma	211 942 Kč

Tabulka 24. Suma prvků u FV soustavy.

Jak si lze povšimnout z tabulek 23 a 24 investiční náklady na ohřev pomocí solárních kolektorů vyjde v porovnání s FV soustavou levnější cca o polovinu.

8.1. Roční ekonomický přínos obou návrhů

Při ročním přínosu budu vycházet z užitečného zisku, který je pro ekonomické zhodnocení stejný, vzorec (14) a (52). Náklady na provoz čerpadla nebudu zahrnovat do ekonomického zhodnocení, protože jeho provoz je pod 1% z celkové pořizovací částky pro solární soustavu s kolektory.

$$R_{P_K} = Q_{už_c} \cdot NT_e = 4357,8 \cdot 1,83 = 7975 \text{ Kč} \quad (55)$$

$$R_{P_FV} = Q_{už_c} \cdot NT_e + D_e \cdot Q_{p_c} = 4357,8 \cdot 1,83 + (1,83 - 1,727) \cdot 529,3 = 8029 \text{ Kč} \quad (56)$$

kde:

$Q_{už_c}$ a $Q_{už_c_FV}$ - roční užitečný zisk ze soustav [kWh]

NT_e - Nízký tarif elektřiny [Kč/kWh]

D_e - Poplatek za distribuci. [Kč]

Q_{p_c} - Suma přebytků energie z FV panelů [kWh]

8.2. Prostá doba návratnosti obou návrhů

Budu vycházet z ročního ekonomického přínosu.

$$Dn_K = \frac{I_{-K}}{R_{p_K}} = \frac{102195}{7975} = 12,8rok \quad (57)$$

$$Dn_{FV} = \frac{I_{-FV}}{R_{p_FV}} = \frac{211942}{8029} = 26,4rok \quad (58)$$

kde:

I_{-K} - investice kolektorové soustavy [Kč]

I_{-FV} - investice FV soustavy [Kč]

R_{p_K} – roční přínos kolektorové soustavy [Kč]

R_{p_FV} – roční přínos FV soustavy [Kč]

8.3. Environmentální zhodnocení

U environmentální zhodnocení budu vycházet z emisních faktorů [14]. Jde o výpočet snížení emisí díky instalaci solárních kolektorů nebo FV soustavy. Ze začátku výpočtu emise, které se vyprodukují na mou potřebu tepla vzorec (3). Dále výpočtu ušetřené emise, na nainstalované solární kolektory a FV soustavu. U solárních kolektorů budu vycházet z užitečného zisku (14), ale u FV soustavy budu brát celkový zisk (51).

Emisní faktory pro systémovou elektřinu (kg/GJ)						
Typ zdroje	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Elektřina systémové zdroje	0,02591	0,489376	0,415698	0,0393	0,03086	325

Tabulka 25. Emisní faktory pro systémovou elektřinu [14].

8.3.1. Výpočet množství emisí z potřeby tepla na TV pro celý rok

Jelikož emise v tabulce 25 jsou uváděny v kg/GJ musím potřebné teplo přepočítat z kWh na GJ. U soustavy s kolektory musím také započít energii potřebnou k pohonu čerpadla, která činí 55,2 kWh

$$Př = 0,0036 \cdot kWh = GJ \text{ potom } Q_c = 0,0036 \cdot 5913 = 21,2868GJ \quad (59)$$

$$Př_{-č} = 0,0036 \cdot kWh = GJ \text{ potom } Q_{\dot{c}} = 0,0036 \cdot 55,2 = 0,198GJ \quad (60)$$

Množství emisí TL

$$E_{TL} = TL \cdot Q_c = 0,02591 \cdot 21,2868 = 0,55kg \quad (61)$$

Množství emisí SO₂

$$E_{SO_2} = SO_2 \cdot Q_c = 0,489376 \cdot 21,2868 = 10,42kg \quad (62)$$

Množství emisí NO_x

$$E_{NO_x} = NO_x \cdot Q_c = 0,415698 \cdot 21,2868 = 8,85kg \quad (63)$$

Množství emisí CO

$$E_{Co} = CO \cdot Q_c = 0,0393 \cdot 21,2868 = 0,84kg \quad (64)$$

Množství emisí Org. látky

$$E_{Org.l} = Org.l \cdot Q_c = 0,03086 \cdot 21,2868 = 0,66kg \quad (65)$$

Množství emisí CO₂

$$E_{CO_2} = CO_2 \cdot Q_c = 325 \cdot 21,2868 = 6918,21kg \quad (66)$$

kde:

Q_c – roční potřeba tepla [GJ]

TL, SO₂, NO_x, CO, Org.l a CO₂ – emisní faktory pro dané látky [kg/GJ]

Tabulka emisí vyprodukovaných za rok potřebu tepla

Emise za celý rok pro potřebu tepla na TV						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,55	10,42	8,85	0,84	0,66	6918,21

Tabulka 26. Množství emisí za rok.

Tabulka emisí vyprodukovaných pro pohon čerpadla

Emise za celý rok pro potřebu tepla na TV						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,0051	0,0969	0,0823	0,0078	0,0061	64,35

Tabulka 27. Množství emisí za rok.

V tabulce 26 je souhrn emisí, které se vyprodukují, abych mohl získat potřebnou energii na ohřátí vody na celý rok. V tabulce 27 jsou vyprodukované emise pro pohon čerpadla. V další kapitole vypočtu množství ušetřených emisí díky použití kolektoru nebo FV panelů.

8.3.2. Výpočet ušetřených emisí

U soustavy se solárními kolektory budu vycházet z užitečného zisku (14). U soustavy s FV panely, budu ale vycházet celkového zisku (51), protože mé přebytky, které dám do veřejné elektrické sítě se také vyrobily bez emisí.

Jelikož emise v tabulce 25 jsou uváděny v kg/GJ musím získaný užitečný zisk přepočíst z kWh na GJ.

$$Př = 0,0036 \cdot kWh = GJ \text{ potom } Q_c = 0,0036 \cdot 4357,8 = 15,6880GJ \quad (67)$$

$$Př_{FV} = 0,0036 \cdot kWh = GJ \text{ potom } Q_{c_{FV}} = 0,0036 \cdot 4958,04 = 17,8489GJ \quad (68)$$

Množství emisí TL

$$EU_{TL} = TL \cdot Q_{už} = 0,02591 \cdot 15,6880 = 0,41kg \quad (69)$$

Množství emisí SO₂

$$EU_{SO_2} = SO_2 \cdot Q_{už} = 0,489376 \cdot 15,6880 = 7,68kg \quad (70)$$

Množství emisí NO_x

$$EU_{NO_x} = NO_x \cdot Q_{už} = 0,415698 \cdot 15,6880 = 6,52kg \quad (71)$$

Množství emisí CO

$$EU_{CO} = CO \cdot Q_{už} = 0,0393 \cdot 15,6880 = 0,62 \text{ kg} \quad (72)$$

Množství emisí Org. látky

$$EU_{Org.l} = Org.l \cdot Q_{už} = 0,03086 \cdot 15,6880 = 0,48 \text{ kg} \quad (73)$$

Množství emisí CO₂

$$EU_{CO_2} = CO_2 \cdot Q_{už} = 325 \cdot 15,6880 = 5098,6 \text{ kg} \quad (73)$$

kde:

$Q_{už}$ – užitečný zisk, jak z kolektoru, tak z FV soustavy [GJ]

TL, SO₂, NO_x, CO, Org.l a CO₂ – emisní faktory pro dané látky [kg/GJ]

Tabulka ušetřených emisí při použití kolektorů.

Emise za celý rok z užitečných zisků [kg]						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,41	7,68	6,52	0,62	0,48	5098,6

Tabulka 28. Ušetřené emise za celý rok.

Smysl výpočtu pro ušetřené emise při použití FV panelů je stejný, tedy uvedu už jen výsledky v tabulce 29.

Tabulka ušetřených emisí při použití FV panelů

Emise za celý rok z užitečných zisků [kg]						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,46	8,73	7,42	0,70	0,55	5800,89

Tabulka 29. Ušetřené emise za celý rok.

Tabulka emisí, které budu dále vyprodukovávat při použití soustavy s kolektory

Emise, která budu nadále vyprodukovávat se skládají z emisí, které se vyprodukují kvůli potřebné energii na ohřev TV, k nim musím připočíst emise vyprodukované k získání energie na pohon čerpadla a odečíst ušetřené emise za použití solárních kolektorů.

Příklad výpočtu: $EC_{TL} = E_{TL} + E_{TL_{\text{č}}} - EU_{TL} = 0,55 + 0,0051 - 0,41 = 0,14 \text{ kg} \quad (73)$

Emise za celý rok, které budu nadále vyprodukovávat [kg]						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,145	2,787	2,362	0,228	0,176	1858,8

Tabulka 30. Emise nadále vyprodukované.

Tabulka emisí, které budu dále vyprodukovávat při použití FV soustavy

Příklad výpočtu: $EC_{TL} = E_{TL} - EU_{TL} = 0,55 - 0,46 = 0,09 \text{ kg} \quad (74)$

Emise za celý rok, které budu nadále vyprodukovávat [kg]						
Emise	TL	SO ₂	NO _x	CO	Org. látky	CO ₂
Množství [kg]	0,09	1,69	1,43	0,14	0,11	1117,32

Tabulka 31. Emise nadále vyprodukované.

Závěr

V diplomové práci jsem napočítal potřeby tepla pro jednotlivé měsíce na přípravu teplé vody viz. tabulka 3. Zvolil jsem solární kolektor KPS11+ANT. Při mé potřebě tepla a dopadajícího slunečního záření na můj zvolený solární kolektor vychází nutnost použití čtyř kolektorů, abych pokryl rovnovážnou bilanci v měsíci dubnu. Celkový užitečný zisk ze solárního kolektoru činí 4357,8 kWh, který pokryje 73% potřeby tepla na ohřátí teplé vody. U FV systému jsem zvolil monokrystalický FV panel BENQ. Užitečný zisk z FV panelů činí 4386,9 kWh a pokryje 74% potřeby tepla na ohřátí teplé vody.

Dále jsem navrhnul potřebné prvky jak solární soustavy, tak fotovoltaické soustavy. Mezi hlavní části solární soustavy patří solární zásobník, oběhové čerpadlo a expanzní nádoba. Solární zásobník jsem pro mou denní spotřebu zvolil RBC 500. Oběhové čerpadlo jsem zvolil podle průtoku a dopravované výšky SOLAR PM 15-45 od firmy Grundfos. Velikost expanzní vypočítané nádoby činí 17,24 l, proto jsem zvolil expanzní nádobu SL018 od firmy Regulus spol. s.r.o., která má objem 18 l.

U FV soustavy jsem zvolil akumulaci nádrž na 500l, která se třemi topnými spirálami tvoří stratifikační zásobník. Nabíjení zásobníku je řešeno, tak že v první stupni se nabíjí pohotovostní zásobník, a pak akumulaci nádrž. Dále jsem zvolil Solar Kerberos, který sleduje bod maximálního výkonu FV panelů.

Ke konci své práce jsem provedl ekonomické a environmentální zhodnocení. Z prostého ekonomického zhodnocení vychází lépe ohřev za pomoci solárních kolektorů KPS11+ANT. Doba návratnosti pomocí fotovoltaického ohřevu je zhruba 26 let naproti doba pomocí ohřevu kolektory vychází o polovinu kratší a činí 13 let. Z environmentálního hlediska vychází lépe použití FV soustavy, jak si lze všimnout při porovnání tabulky 30 s tabulkou 31.

Z osobního pohledu bych zvolil ohřev pomocí kolektorové soustavy, protože vychází cenově levněji a má kratší dobu splatnosti. U fotovoltaické soustavy vychází doba splatnosti 26 let a deklarovaná záruka na materiál a zpracování je jen 10let, přičemž za 26 let bude účinnost fotovoltaického panelů snížena až o 20%.

Seznam použité literatury

- [1] CIHELKA, J.; Solární tepelná technika. Praha: Malina, 1994. 203 s. ISBN 80-900759-5-9.
- [2] KAMINSKÝ, J.; VRTEKM, M.; Obnovitelné zdroje energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.
- [3] MATUŠKA, T.; Solární tepelné soustavy. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2009. 194 s. ISBN 978-80-02-02186-5.
- [4] MATUŠKA, T.; Solární zařízení v příkladech. 1 vyd. Praha: Grada Publishing, 2013. ISBN 978-80-247-3525-2.
- [5] Roční hodnoty pro ČR. [Online]. [cit. 2015-12-02]. Dostupný z www: <http://solargis.info/doc/free-solar-radiation-maps-GHI#C>
- [6] MOJMÍR, V.; Sluneční energie. Ostrava: VŠB – TU Ostrava. 2012. 110 s.
- [7] MATUŠKA, T.; Typy solárních kolektorů. TZB-info [Online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupný z www: <http://oze.tzb-info.cz/solarni-kolektory/154-typy-solarnich-kolektoru>.
- [8] HASELHUHN, R. Fotovoltaika: budovy jako zdroj proudu. 1. české vyd. Přeložil Václav LOSÍK. Ostrava: HEL, 2011. ISBN 978-80-86167-33-6.
- [9] Křemíkový solární článek. [Online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupný z www: <http://www.solar-is-future.com/solar-energy-source/how-photovoltaics-work/from-light-to-electricity/index.html>
- [10] MURTINGER, K. a TRUXA, J.; Solární energie pro váš dům. 1. vyd. Brno: ERA, 2005. ISBN 80-7366-029-6.
- [11] Autonomní systémy [Online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupný z www: <http://www.zsseifertova.ji.cz/sites/default/files/html/slundos/fv.pdf>
- [12] Autonomní systémy [Online]. [cit. 2015-12-15]. Dostupný z www: <http://www.jrpsolar.cz/fotovoltaiicke-autonomni-systemy>
- [13] VRÁNA, J.; Vliv místních odporů na tlakové ztráty v potrubí. [Online]. [cit. 2015-12-17]. Dostupný z www: <http://www.tzb-info.cz/8514-vliv-mistnich-odporu-na-tlakove-zraty-v-potrubi>.
- [14] VRTEK, M.; Emise SF₆.doc Katedra energetiky VŠB-TU Ostrava [Online]. [cit. 2016-03-10]. Dostupný z www: http://fs1.vsb.cz/361/vyuka/vrt/AOZE/ZZZ_Dopl_ENV/

Seznam příloh

Přílohy

Příloha A	Technický list slunečního kolektoru KPS11+ANT
Příloha B	Technický list solární kapaliny Solarten Super
Příloha C	Technický list solárního zásobníku RBC 500
Příloha D	Technický list solárního zásobníku RBC 200
Příloha E	Technický list solárního čerpadla SOLAR PM2 14-45,130
Příloha F	Produktový list expanzní nádoby SLO18
Příloha G	Technický list FV panelů BENQ
Příloha H	Technický list akumulční nádrže PS 500+E

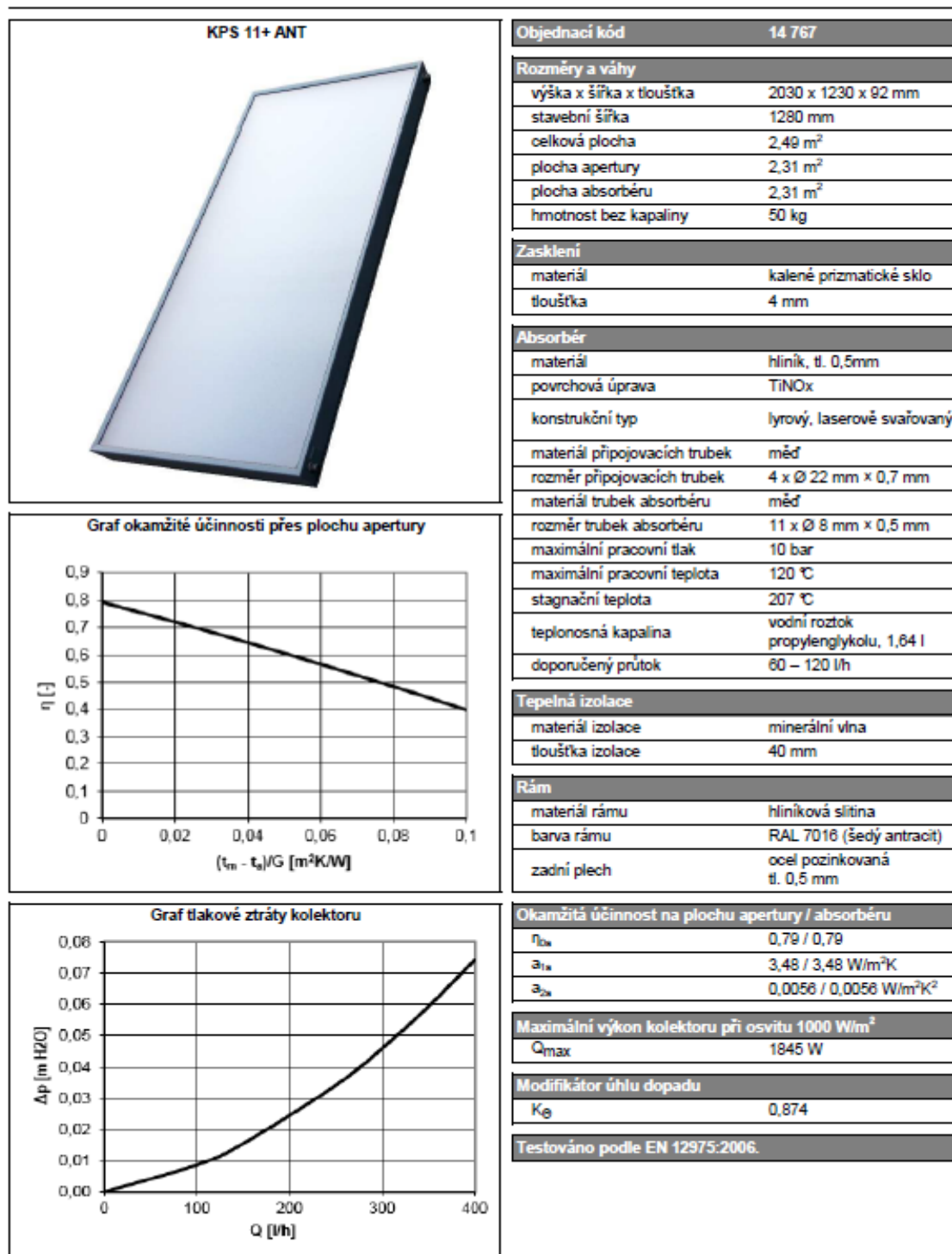
Výkresová dokumentace

OTI 0014-01	Solárních schéma - A3 (vložený)
OTI 0014-02	FV schéma - A3 (vložený)
OTI 0014-03	Solární soustava – A2 – list 1 (vložený)
OTI 0014-04	Solární soustava – A3 – list 2 (vložený)
OTI 0014-05	Solární soustava – kusovník – A4 (vložený)
OTI 0014-06	FV soustava – A2 – list 1 (vložený)
OTI 0014-07	FV soustava – A3 – list 2 (vložený)
OTI 0014-08	FV soustava – kusovník – A4 (vložený)

CD Příloha

CD –ROM vložené v deskách diplomové práce

Solární kolektor KPS 11+ ANT





TECHNICKÝ LIST

Datum vyhotovení: 01. 02. 2012

Počet stran: 2

1. IDENTIFIKACE PŘÍPRAVKU A SPOLEČNOSTI:

1.1. Identifikace přípravku: SOLARTEN SUPER - 28

1.2. Použití přípravku: Teplonosná antikorozní kapalina s nízkým bodem tuhnutí pro všechny typy slunečních kolektorů včetně vakuových.

1.3. Identifikace výrobce:
se sídlem: ZEVAR[®], s.r.o.
Větrný Jeníkov 147, 588 42 Větrný Jeníkov
IČO: 25544101, DIČ: CZ25544101
telefon: +420 560 995 132

2. PRACOVNÍ VYMEZENÍ:

Nezámrzná teplota - 28°C
Pracovní teploty do 230°C (do 2,5 MPa)
Krátkodobá teplota přehřátí 300°C

3. ŽIVOTNOST:

Výrobce předpokládá životnost kapaliny v odborně provozovaných systémech min. 10 let. Výrobce doporučuje 1x za 2 roky provádět kontrolu kapaliny na nezámrznou teplotu.

4. FYZIKÁLNÍ A CHEMICKÉ VLASTNOSTI:

4.1. Obecné informace
Vzhled (při 20°C): lehce viskózní kapalina
Barva: žlutá
4.2. Technické informace
pH (při 20°C) 33% roztok s vodou: 7,2 – 9,0
Bod varu: 104°C
Hustota při 20°C: > 1 025 kg/m³
Index lomu při 20°C: 1,380 – 1,384
4.3. Korozivní odolnost odpovídá TL 774

5. TECHNICKÉ PARAMETRY

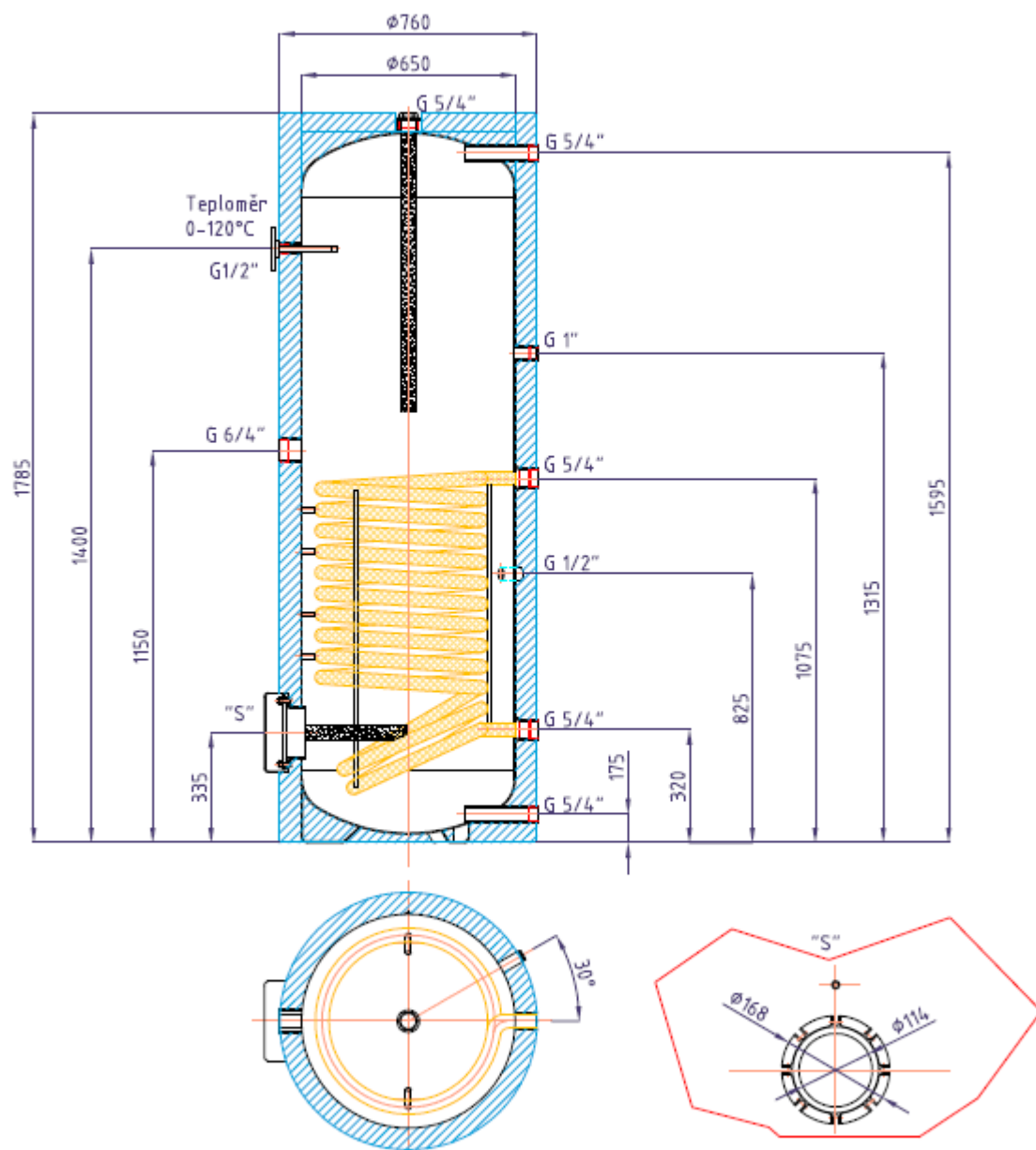
Teplota	Hustota	Kinematická viskozita	Tepelná kapacita	Tepelná vodivost
°C	g/cm ³	mm ² /s	J/g.K	W/m.K
-20	1,053	60	3,45	0,388
-10	1,049	26	3,49	0,393
0	1,045	15	3,53	0,400
10	1,040	8	3,56	0,407
20	1,034	5	3,60	0,414
30	1,028	3,5	3,64	0,421
40	1,022	2,5	3,68	0,428
50	1,015	1,9	3,72	0,435
60	1,008	1,7	3,76	0,442
70	1,001	1,4	3,80	0,449
80	0,994	1,2	3,84	0,456
90	0,985	1,0	3,88	0,463
100	0,978	0,8	3,92	0,470

Prandtlovo číslo =
$$\frac{\text{hustota} \times \text{kinematická viskozita} \times \text{tepelná kapacita}}{\text{tepelná vodivost}}$$

Přetlak Mpa	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1	1,5	2
Teplota °C	104	124	140	149	157	165	184	200	215

Zásobníkový ohřívač vody Regulus RBC500

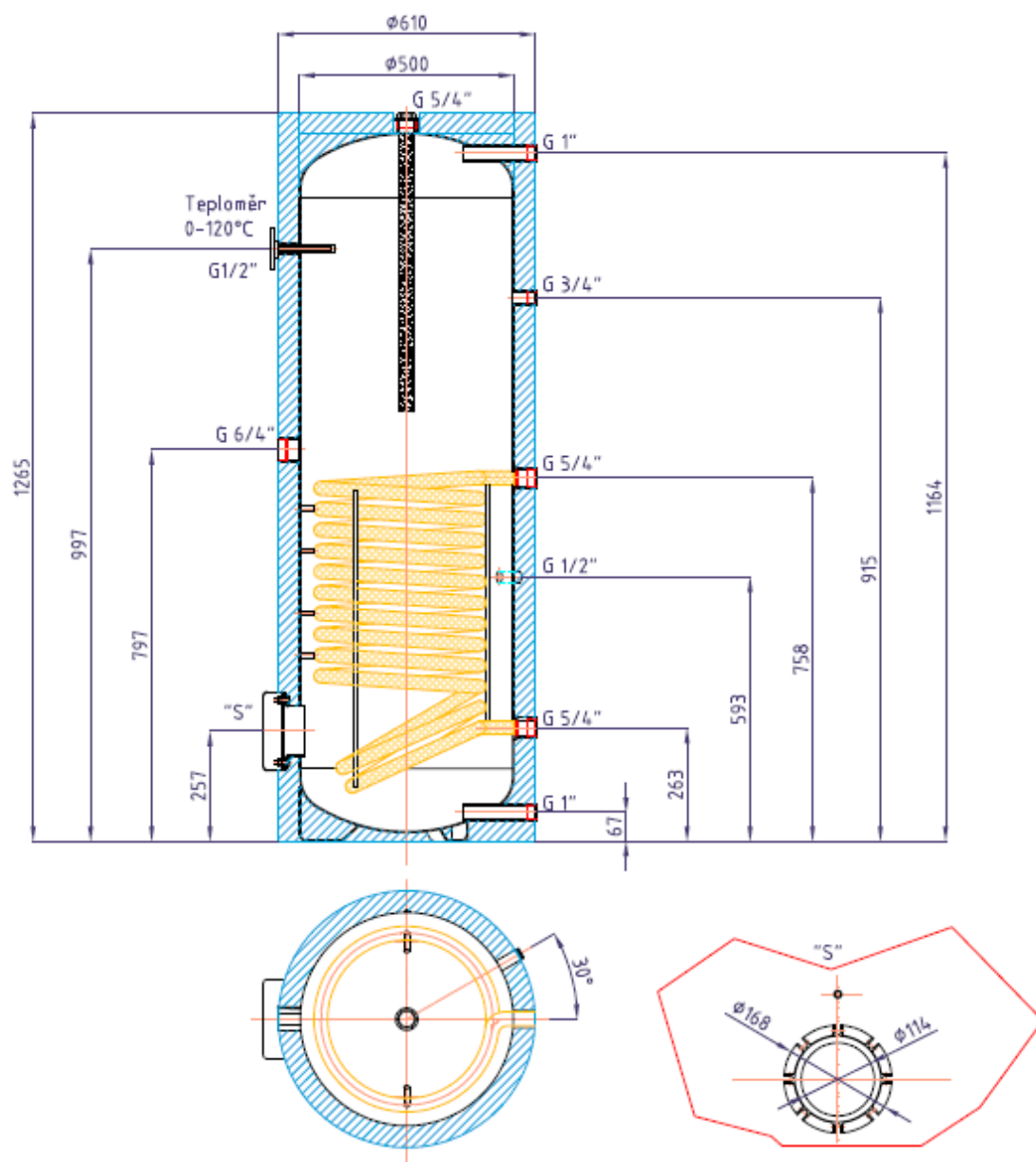
kód: 6480



Celkový objem zásobníku:	500 l
Plocha topného hada:	2,5 m ²
Maximální provozní teplota zásobníku:	95 °C
Maximální provozní teplota topného hada:	110 °C
Maximální provozní tlak zásobníku:	10 bar
Maximální provozní tlak topného hada:	10 bar

Zásobníkový ohřívač vody Regulus RBC200

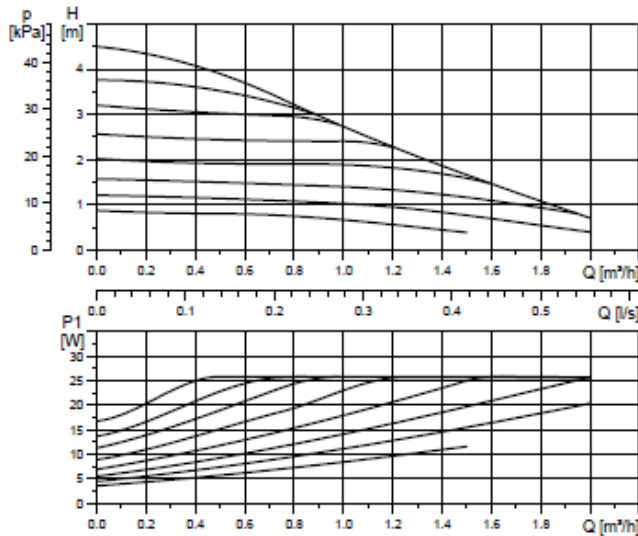
kód: 3252



Celkový objem zásobníku:.....	200 l
Objem topného hada:.....	9,5 l
Plocha topného hada:.....	1,5 m ²
Maximální provozní teplota zásobníku:.....	95 °C
Maximální provozní teplota topného hada:.....	110 °C
Maximální provozní tlak zásobníku:.....	10 bar
Maximální provozní tlak topného hada:.....	10 bar
Příprava TV $\Delta t=35^{\circ}\text{C}$ (80/60 - 10/45):.....	1280(51,9) l/h(kW)
Hmotnost prázdné nádrže:.....	82 kg

6. Performance curves and technical data

SOLAR PM2 15-45 130, 1 x 230 V, 50/60 Hz



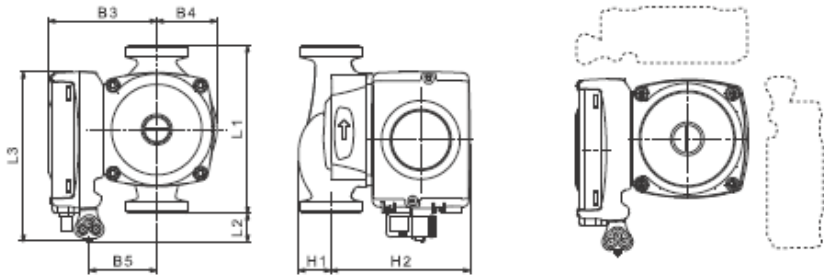
EEI ≤ 0.23

TM05 1400 2711 - TM04 9200 3710

Electrical data, 1 x 230 V, 50 Hz

Speed	P1 [W]	I _{in} [A]
Min.	3.5	0.04
Max.	26	0.2

Dimensional sketches and position of terminal box



TM04 9212 3610 - TM04 9473 4310

Pump type	Dimensions [mm]								Connection	Net weight [kg]	Quantity per pallet
	L1	L2	L3	B3	B4	B5	H1	H2			
SOLAR PM2 15-45 130	130	22	132	84	47	52	25	108	G 1	2.27	-

Technical data

System pressure:	Max. 1.0 MPa (10 bar)	Enclosure class:	IPX4D
Minimum inlet pressure:	0.05 MPa (0.5 bar) at 95 °C liquid temperature	Insulation class:	H
Liquid temperature:	+2 °C to +95 °C (TF 95)	Equipment class:	I
Motor protection:	Overload protection	Approval and marking:	VDE, CE

Can withstand pressure shocks greater than 10 bars and short temperature peaks up to 120 °C. Revision date: 1 July 2012.

EXPANZNÍ NÁDOBY PRO SOLÁRNÍ SYSTÉMY



Expanzní nádoby AQUAFILL SL

Expanzní nádoby řady SL jsou určeny k provozu v solárních systémech.

Nádoby jsou vyrobeny z vysoce kvalitní oceli a jsou opatřeny antikorozi povrchovou úpravou. V nádobě je nepropustná, velmi elastická membrána odolná vůči vysokým teplotám. U nádob s objemem od 50 l je membrána vyměnitelná.




Technické údaje


MATERIÁL NÁDOBY	ocel
MATERIÁL MEMBRÁNY	butyl
MATERIÁL PŘÍRUBY	nerezová ocel
PŘEDNASTAVENÝ TLAK	2,5 bar
PROVOZNÍ TEPLOTA	-10 až 130 °C

Správnou velikost expanzní nádoby musí stanovit projektant. Expanzní nádoba musí být dimenzována na teplotní rozdíl daný minimální teplotou v zimním období a maximální teplotou v letním období a musí být schopna pojmout objem kapaliny všech kolektorů v případě stagnace (maximální teplota kolektoru při zastaveném průtoku a velké intenzitě slunečního záření).

Rozměry a typy



ZÁVĚSNÉ PROVEDENÍ		SL012	SL018	SL025	SL040
OBJEM	l	12	18	25	40
PRŮMĚR	mm	270	270	290	320
VÝŠKA	mm	310	425	468	570
PŘÍPOJENÍ	—	3/4" M	3/4" M	3/4" M	3/4" M
MAX.PRACOVNÍ TLAK	bar	8	8	8	8
OBJEDNACÍ KÓD	—	13720	13721	13722	13723



PROVEDENÍ NA NOHÁCH S VÝMĚNNÝM VAKEM		SL050	SL080	SL100	SL150	SL200	SL300	SL500
OBJEM	l	50	80	100	150	200	300	500
PRŮMĚR	mm	320	450	750	554	554	624	780
VÝŠKA	mm	620	662	732	807	988	1160	1250
PŘÍPOJENÍ	—	3/4" M	3/4" M	1" M	6/4" M	6/4" M	6/4" M	6/4" M
MAX.PRACOVNÍ TLAK	bar	10	10	10	10	10	10	8
OBJEDNACÍ KÓD	—	13724	13725	13726	13727	13728	13729	13730

Příslušenství

	Držák na zeď a přípojovací ventil G 3/4" F/M Obj. kód 7766
	Přípojovací ventil 3/4" Obj. kód 8770 1" Obj. kód 12295 6/4" Obj. kód 14492
	Držák na zeď včetně vrutů a hmoždinek Obj. kód 12174

Výměnný vak

OBJEM	OBJ. KÓD
50l	13775
80 a 100l	13776
150l	13777
200l	12763
300l	13786
500l	13787



Regulus spol. s r.o.
Do Koutů 1897/3, 143 00 Praha 4
Tel.: 241 764 506, Fax: 241 763 976
E-mail: obchod@regulus.cz
Web: www.regulus.cz

Expanzní nádoby
AQUAFILL SL

GreenTriplex PM060M02 (270 ~ 280 W_p)

Electrical Data

Typ. Nominal Power P _N	270W	275W	280W
Typ. Module Efficiency	16.8%	17.1%	17.4%
Typ. Nominal Voltage V _{MPP} (V)	31.8	32.3	32.7
Typ. Nominal Current I _{MPP} (A)	8.50	8.52	8.57
Typ. Open Circuit Voltage V _{OC} (V)	38.5	38.7	38.9
Typ. Short Circuit Current I _{SC} (A)	9.01	9.03	9.06
Maximum Tolerance of P _N	0 / +3%		

• Above data are the effective measurement at Standard Test Conditions (STC)
 • STC: Irradiance 1000 W/m², spectral distribution AM 1.5, temperature 25 ± 2 °C, in accordance with EN 60904-3
 • The given electrical data are nominal values which account for basic measurements and manufacturing tolerances of ±10%, with the exception of P_N. The classification is performed according to P_N

Temperature Coefficient

NOCT	46 ± 2 °C
Typ. Temperature Coefficient of P _N	-0.42% / K
Typ. Temperature Coefficient of V _{OC}	-0.30% / K
Temperature Coefficient of I _{SC}	0.05% / K

• NOCT: Normal Operation Cell Temperature, measure conditions: Irradiance 800 W/m², AM 1.5, air temperature 20 °C, wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics

Dimensions (L x W x H)	1639 x 983 x 40 mm (64.53 x 38.70 x 1.57 in)
Weight	18.5 kg (40.79 lbs)
Front Glass	High transparent solar glass (tempered), 3.2 mm (0.13 in)
Cell	60 monocrystalline solar cells
Back Sheet	Composite film
Frame	Anodized aluminum frame
Junction Box	IP-67 rated with 3 bypass diodes
Connector Type & Cables	TE Connectivity PV4: 1 x 4 mm ² (0.04 x 0.16 in ²), Length: each 1.0 m (39.37 in) YUKITA YS-254/ YS-255: 1 x 4 mm ² (0.04 x 0.16 in ²), Length: each 1.065 m (41.93 in)

Operating Conditions

Operating Temperature	-40 ~ +85 °C
Ambient Temperature Range	-40 ~ +45 °C
Max. System Voltage IEC/UL	1000 V / 1000 V
Serial Fuse Rating	15 A
Maximum Surface Load Capacity	Tested up to 5400 Pa according to IEC 61215 (advanced test)

Warranties and Certifications

Product Warranty	Maximum 10 years for material and workmanship
Performance Guarantee	Guaranteed linear degradation to 80% for 25 years *1
Certifications	According to IEC/EN 61215, IEC/EN 61730 and UL 1703 guidelines *2

*1: Please refer to warranty letter for detail
 *2: Please confirm other certifications with official dealers

Packing Configuration

Container	20' GP	40' GP	40' HQ
Pieces per Pallet	26	26	26
Pallets per Container	6	14	28
Pieces per Container	156	364	728

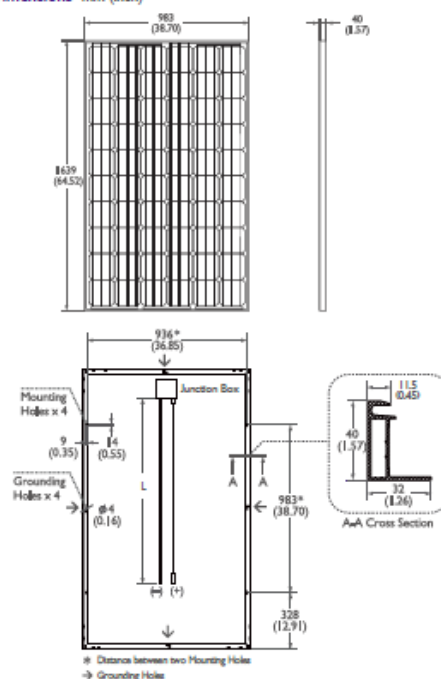


AU Optronics Corporation
 No. 1, Li-Hsin Rd. 2, Hsinchu Science Park, Hsinchu 30078, Taiwan
 Tel: +886-3-500-8899 www.BenQSolar.com

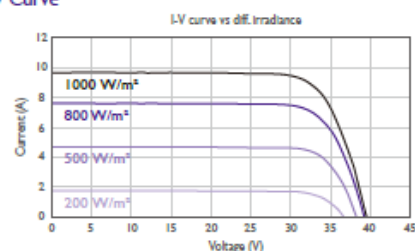


BenQ Solar is a division of AU Optronics. This datasheet is printed with Soy Ink.
 © Copyright February 2015 AU Optronics Corp. All rights reserved. Information may change without notice.

Dimensions mm (inch)



I-V Curve



Current/voltage characteristics with dependence on irradiance and module temperature.

Dealer Stamp



BenQ
Solar



Akumulační nádrž PS 500 E+



PS 500 E+

PS 500 E+ s izolací

Objednací kód	
Nádrž	14 754
Izolace (příslušenství)	15 130
Použití	
Akumulace a následná distribuce tepelné energie z kotlů na pevná paliva, tepelných čerpadel případně jiných zdrojů tepla.	
Energetické parametry (dle Nařízení Komise (EU) č. 813/2013)	
PS 500 E+ s izolací	
Třída energetické účinnosti	C
Statická ztráta	95 W
Užitný objem	473 l
Technické údaje	
Celkový objem nádrže	473 l
Max. provozní teplota v nádrži	95 °C
Max. provozní tlak v nádrži	4 bar
Materiál	
Materiál nádrže	S235JR
Rozměry, klopná výška a hmotnost	
Průměr nádrže	600 mm
Průměr nádrže s izolací	800 mm
Celková výška nádrže	1915 mm
Klopná výška bez izolace	1950 mm
Max. délka / výkon topného tělesa	680 mm / 9 kW
Hmotnost prázdné nádrže	68 kg
Příslušenství	
Izolace	objednací kód 15 130
Pojistný ventil	3 bar, 1/2" M-F, součást balení
Elektrické topné těleso	typy ETT-A, C, D, F, G, H, J, L, M